

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela politécnica superior

Ingeniería mecánica



Trabajo fin de grado

***Análisis paramétrico de una tabla de snowboard
con material no newtoniano***

Autor:

Álvaro Caraballo González-Barros

Tutores:

Josué Aranda Ruíz

Marta María Moure Cuadrado

Agradecimientos

Gracias a este apartado voy a poder dejar evidencia de todas aquellas personas que a lo largo de esta increíble etapa de mi vida han estado ahí, sin los cuales todo este camino no habría sido posible.

En primer lugar, sin duda alguna, a mis padres. Su apoyo diario durante estos años ha sido sin lugar a dudas un gran impulso para seguir adelante con los estudios, aun incluso en los momentos de mayor desmotivación. Su celebración por los éxitos, aunque a veces exaltada, era sin duda algo que te hace pensar lo importante que es para ellos mi vida y mis éxitos. Por todo ello muchísimas gracias a los dos.

En segundo lugar, una grandísima mención a una amiga, una compañera de viaje de una gran etapa de mi vida, a ti, Melanie. Tengo que agradecerte todo el apoyo, ayuda, ánimo y paciencia que has tenido conmigo en algunas partes duras de mi vida, tanto en la parte académica como en la personal, sin ti esto no sería posible. Has estado hasta el final, y ahora en el master que comenzamos juntos el apoyo mutuo no faltará. Muchísimas gracias, de verdad.

En tercer lugar a mis compañeros de clase. Han sido muchos, muchos que han estado y muchos que están. A ellos les debo grandes lecciones de vida y apoyo académico. La persona que soy ahora, es parte en consecuencia de su presencia en mi vida. Entre ellos tengo que mencionar a mi mayor confidente Víctor, un gran amigo y mejor persona. También no me puedo olvidar de Antonio, Álvaro, Javi y Néstor del comienzo de esta etapa. Y de la última parte de esta etapa a Hernán, Nico, Ana, Alba y Philip.

En cuarto lugar, una mención a un gran colaborador y amigo de la nieve, Toto, quien me aportó información, ideas y sugerencias acerca de mi proyecto, las cuales han sido tenidas muy en cuenta. Junto a él tengo que mencionar a la marca de snowboard Salomon, de la que él se encarga por aportarme los catálogos de la marca en los que consultar ciertos datos.

En quinto lugar a toda la gente del mundo de la nieve, los cuales no solo me han aportado grandes momentos en ese paraíso blanco sino que también me han completado como persona. Muchísimas gracias a todos vosotros Paula, Juanito, Ales, Sara, Jorge, Stefano, Risco y Moncho.

En sexto lugar, aunque llega en la recta final de esta etapa, esta mención no es menos y va para mi novia Roxana. Una persona increíble con una tenacidad para la vida que contagia y te hace ser mejor cada día, sin duda una gran compañera de viaje. Por todo lo vivido y lo que viviremos muchísimas gracias.

Y por último, que no menos importante, a mis increíbles tutores, Josué y Marta, los cuales me han enseñado sobre tantas cosas que ha sido un verdadero placer compartir con ellos esos momentos. Ha sido increíble poder aprender cosas como el ingenio, actitud frente a los problemas, búsqueda de recursos, atención al detalle, desarrollo del buen trabajo..... Por todo ello muchísimas gracias a los dos, os deseo un gran futuro como ingenieros, porque lo sois.

Gracias.

Resumen

En este proyecto se va a tratar el estudio de una tabla de snowboard mediante el uso de un código comercial de elementos finitos. A ésta se le introducirán unas piezas de un material no newtoniano alojadas en el núcleo de madera, situadas a ambos lados de cada fijación. El objetivo de dichas piezas es retrasar la rotura de la tabla disipando la energía acumulada en la intersección fijación-tabla como consecuencia de un fuerte impacto contra un obstáculo, o bien proporcionar una mejora en la flexión de la tabla en cualquiera de los trucos comúnmente realizados sobre una barandilla en un snowpark.

En el software utilizado se han realizado cuatro modelos, dos modelos con la estructura de una tabla convencional la cual será sometida a un ensayo de impacto y a un ensayo de flexión, y otros dos modelos en los cuales se han incluido piezas de material no newtoniano insertadas en el núcleo, y que se han sometido a los mismos ensayos que la tabla convencional.

El resultado es la comparación de ambos modelos con ambos ensayos donde se podrá comprobar la funcionalidad de este material no newtoniano en el interior de una tabla de snowboard.

Abstract

This project focuses on the study of a snowboard using a commercial finite element code. Some pieces of non-Newtonian material are placed inside the wood core, located on both sides of each fixing. The aim of such pieces is to delay the breaking of the board, dissipating the energy stored in the intersection "fixation-board" due to a strong impact against an obstacle, or provide improved bending to the board in any of the tricks commonly performed on a railing on a snowpark.

Four models have been built in the software used, two of them with a conventional structure of a board which will be subjected to an impact test and a bending test, and two other models in which non-Newtonian pieces has been inserted within the core, subjected to the same kind of tests as the conventional board.

The result is the comparison between both models and both tests, where the functionality of the non-Newtonian material inside a snowboard will be checked.

Índice:

1. Introducción	9
1.1.Motivación	9
1.2.Objetivos	10
1.3.Estructura memoria	10
 2. Antecedentes	 12
2.1.Historia del snowboard	12
2.2.Evolución tecnológica	20
2.3.La tabla de snowboard actual	25
2.3.1. Partes de una tabla	25
2.3.2. Tipos de camber	26
2.3.3. Modelos de tabla	27
2.4.Roturas habituales	30
2.5.Material no newtoniano	33
 3. Planteamiento del problema	 36
3.1.Introducción	36
3.2.Tipos de ensayo	37
3.3.Geometría	38
3.4.Materiales elegidos	41
3.5.Simplificaciones	42
 4. Modelización numérica	 44
4.1.Módulo part	44
4.2.Módulo property	46
4.3.Módulo assembly	46

4.4.Módulo step	46
4.5.Módulo interaction	47
4.6.Módulo load	47
4.7.Módulo mesh	51
4.7.1. Estudio de sensibilidad de la malla	52
 5. Resultados	 54
5.1.Ensayo a flexión	54
5.2.Ensayo a impacto	59
 6. Conclusiones y trabajos futuros	 64
6.1.Conclusión	64
6.2.Trabajos futuros	65
 7. Bibliografía	 66

Lista de figuras

Fig. 1.1: Trucos de freestyle habituales	9
Fig. 1.2: Simbología de los programas	10
Fig. 2.1: El primer Snurfer en uso	12
Fig. 2.2: Jake Burton (izq) y Tom Sims (drch)	13
Fig. 2.3: Estética colorida de los años 80	13
Fig. 2.4: Miembro del equipo Sims en 1983 realizando un truco aéreo	14
Fig. 2.5: En estas fotos se muestran la forma y las medidas de un half-pipe	14
Fig. 2.6: Craig Kelly volando para Burton Snowboards con su pro-model	15
Fig. 2.7: Tina Basich potencio el snowboard femenino	16
Fig. 2.8: Shaun Palmer para Sims Snowboards	16
Fig. 2.9: Terje Hakonsen haciendo un ejercicio aéreo en half-pipe	17
Fig. 2.10: Algunas fotografías del snowboard en Street	17
Fig. 2.11: Logos de los Juegos Olímpicos y FIS	18
Fig. 2.12: Terje (izquierda) y Craig (derecha) días antes del fatídico momento	18
Fig. 2.13: Shaun White entrenando (izquierda) y ganando los JJ.OO. de 2010 (derecha)	19
Fig. 2.14: Kevin en el half-pipe	19
Fig. 2.15: Cartel publicitario de las primeras tablas de Snurfer	20
Fig. 2.16: Tabla Burton de 1982	20
Fig. 2.17: Tabla Sims de 1990	21
Fig. 2.18: Perfil de construcción tipo “Cap”	21
Fig. 2.19: Perfil del interior de una tabla de snowboard tipo “Sándwich”	22
Fig. 2.20: Comparativa entre un canto normal y un Rail Killer Edge	23
Fig. 2.21: Injerto de goma en el perfil de la tabla	23
Fig. 2.22: Sistema carril frente a sistema convencional y tabla con sistema carril	24
Fig. 2.23: Esquema de la tecnología “Magnetration” y tabla real	24
Fig. 2.24: Nomenclatura de las partes de una tabla de snowboard	26
Fig. 2.25: Tipos de camber	27
Fig. 2.26: Tabla de freestyle Salomon Salomonder	27
Fig. 2.27: Tabla de freeride Salomon XLT	28

Fig. 2.28: Tabla alpina Salomon Sickstick	28
Fig. 2.29: Splitboard Salomon Premiere	29
Fig. 2.30: Impacto lateral	30
Fig. 2.31: Canto fracturado y arrancado	30
Fig. 2.32: Incisión en la suela (izquierda) y reparación con P-Tex en barra (derecha)	31
Fig. 2.33: Fractura de tail	31
Fig. 2.34: Snowboarder saltando hacia un rail (izquierda) y tabla partida (derecha)	32
Fig. 2.35: Fractura de tabla al nivel de la fijación	32
Fig. 2.36: Esfuerzo de cizalla sobre un fluido	33
Fig. 2.37. Fluido no newtoniano frente a impacto (izq) y estado natural (drch)	34
Fig. 2.38: Evolución del material ante un impacto lento	35
Fig. 2.39: Evolución del material ante un impacto rápido	35
Fig. 3.1: Serpiente de madera y detalle de su cuerpo	36
Fig. 3.2: Momento del impacto de una tabla con un rail	37
Fig. 3.3: Imagen lateral y frontal de un truco de gran flexión	38
Fig. 3.4: Espesor parte media (izq.) y parte final (der.)	39
Fig. 4.1: Vista detallada del corte en el perfil	44
Fig. 4.2: Vista del diseño de las particiones en el perfil de media tabla	44
Fig. 4.3: Detalle de las particiones zona inclinada arriba y zona recta abajo	45
Fig. 4.4: Planta de la tabla con particiones y canto efectivo	45
Fig. 4.5: Contacto barandilla-tabla en el ensayo a flexión	47
Fig. 4.6: Contacto barandilla-tabla en el ensayo a impacto	48
Fig. 4.7: Localización de los pies en la tabla	48
Fig. 4.8: Disposición de las cargas para el ensayo a flexión	49
Fig. 4.9: Disposición de las cargas en el ensayo a impacto	49
Fig. 4.10: Cotas del punto de aplicación de las cargas	50
Fig. 4.11: Tabla mallada con un tamaño de elemento 20	52
Fig. 4.12: Tabla mallada con un tamaño de elemento 15	52
Fig. 4.13: Tabla mallada con un tamaño de elemento 10	52
Fig. 4.14: Tabla mallada con un tamaño de elemento 5	52
Fig. 4.15: Relación número de elementos frente a desplazamiento	53
Fig. 4.16: Relación número de elementos frente a tensión	53
Fig. 5.1: Resultado del desplazamiento en el ensayo a flexión	54
Fig. 5.2: Resultado de la tensión en el ensayo a flexión	55

Fig. 5.3: Desplazamiento frente a módulo de Young	56
Fig. 5.4: Tensión frente a módulo de Young	56
Fig. 5.5: Tabla con piezas con módulo de Young 12000 MPa	57
Fig. 5.6: Tabla con piezas con módulo de Young 1000 MPa	57
Fig. 5.7: Tabla con piezas con módulo de Young 50 MPa	57
Fig. 5.8: Tabla con piezas con módulo de Young 12000 MPa	58
Fig. 5.9: Tabla con piezas con módulo de Young 1000 MPa	58
Fig. 5.10: Tabla con piezas con módulo de Young 50 MPa	58
Fig. 5.11: Resultado de la tensión en el ensayo de impacto	59
Fig. 5.12: Resultado del desplazamiento en el ensayo de impacto	59
Fig. 5.13: Tensión frente a módulo de Young	61
Fig. 5.14: Desplazamiento frente a módulo de Young	61
Fig. 5.15: Tabla con piezas con módulo de Young 6000 MPa	62
Fig. 5.16: Tabla con piezas con módulo de Young 15000 MPa	62
Fig. 5.17: Tabla con piezas con módulo de Young 30000 MPa	62
Fig. 5.18: Tabla con piezas con módulo de Young 6000 MPa	63
Fig. 5.19: Tabla con piezas con módulo de Young 15000 MPa	63
Fig. 5.20: Tabla con piezas con módulo de Young 30000 MPa	63
Fig. 6.1: Canto metálico con la localización del ABS	65

Lista de tablas

Tabla 3.1: Dimensiones de la tabla	38
Tabla 3.2: Espesor de cada material según la zona de corte	39
Tabla 3.3: Tabla de propiedades de los materiales	42
Tabla 3.4: Tabla de propiedades fibra de vidrio tipo lamina	42
Tabla 5.1: Tabla resumen del comportamiento de los distintos módulos de Young	55
Tabla 5.2: Tabla resumen del comportamiento de los distintos módulos de Young	60

1. Introducción

1.1 Motivación

En la actualidad el snowboard evoluciona a pasos agigantados, con trucos cada vez más complicados y exigentes para los objetos empleados en esta disciplina, es decir, tablas, fijaciones y botas. El tipo de snowboard hacia el que está orientado este proyecto es el del freestyle (estilo libre), en el que la persona ejecuta trucos y posiciones sobre elementos estáticos, como pueden ser barandillas, cajones o saltos. Estos trucos provocan el desgaste y rotura, cada vez más temprana de estos objetos, siendo de gran necesidad el aumento de resistencia y durabilidad de los mismos. En las imágenes siguientes se pueden observar dos ejemplos de los trucos de freestyle más comunes.



Fig. 1.1: Trucos de freestyle habituales [1]

La motivación principal de este proyecto es la de mejorar las prestaciones de las tablas de snowboard con la introducción de un material, que hasta la fecha no ha sido utilizado por la industria del snowboard. Se trata de los materiales no newtonianos, que gracias a sus cualidades podrían aportar grandes mejoras de funcionalidad, durabilidad y resistencia a las tablas de snowboard.

Trabajar con la idea del uso de un material novedoso, aun en vías de desarrollo, y que puede ser un gran aporte para la ciencia del futuro ha sido otra de las razones por las que se ha desarrollado este proyecto. Hasta ahora todos los materiales utilizados en la construcción de una tabla de snowboard han trabajado en régimen elástico y lineal, con propiedades mecánicas simples, y la idea de introducir un material inteligente es innovadora e interesante.

Dado que este material presenta un comportamiento distinto al de cualquier otro material convencional, ya que modifica sus propiedades en función de la velocidad de la carga aplicada, sería interesante comprobar cómo actúa en el interior de una tabla de snowboard y ver si es capaz de mejorar así sus cualidades ante impactos violentos y grandes flexiones.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la mejora de rendimiento y durabilidad de una tabla de snowboard mediante la introducción de un material no newtoniano, hasta el momento no empleado en las tablas de snowboard, para así satisfacer los deseos de la gente que hace la modalidad de este deporte.

En paralelo al objetivo principal se tiene también como objetivo secundario la introducción de un material poco común a día de hoy en nuestra vida diaria como es el material no newtoniano, aunque es cierto que cada vez más se empiezan a ver objetos como protectores de ordenadores portátiles o protectores de rodilla, fabricados en dicho material.

Conforme al objetivo principal se utilizará el código comercial de Elementos Finitos (MEF) Abaqus 6.11 y el programa de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) Solid Edge V19. A continuación se muestra la simbología de ambos programas.



Fig. 1.2: Simbología de los programas [2]

Como programas más utilizados en la industria de hoy en día, el desarrollo de este proyecto se ha llevado a cabo principalmente con el programa Abaqus 6.11 y de manera complementaria el programa Solid Edge V19 con el objetivo de familiarizarse con ambos para así comprender cada uno de sus comandos y utilidades de estos los cuales serán de gran utilidad en cualquier trabajo futuro.

Con el programa Abaqus 6.11 podremos comprobar como este material no newtoniano interactúa con otros materiales como son la madera, la fibra de vidrio y diferentes tipos de plásticos.

1.3 Estructura memoria

El proyecto se dividirá en los siguientes apartados:

- **Antecedentes:**

En este capítulo del proyecto se situará tanto histórica y como cronológicamente al lector en el mundo del snowboard. Se relatará detalladamente como surgió este deporte, como evolucionó y como el avance de la tecnología en la industria ayudó al desarrollo de los productos.

También se hablará de la variedad de tablas que existen hoy en día en el mercado, así como las diferentes partes que tienen, ayudando así a comprender perfectamente de que están compuestas las tablas.

Por otro lado se explicaran las posibles roturas a las que suelen estar expuestas las tablas y sus posibles soluciones.

Por último, se explicara el concepto básico de fluido no newtoniano y sus características, así como las ventajas que pueden aportar, en este caso a una tabla de snowboard.

- **Planteamiento del problema:**

En este capítulo del proyecto se plantea la idea para la que se desarrolla este proyecto, especificando y justificando detalles de la construcción. Se explicaran los materiales elegidos y se definirán sus propiedades.

También se explicaran las simplificaciones asumidas en este proyecto a la hora de construir la tabla en el programa Abaqus 6.11.

- **Modelización numérica:**

En este capítulo del proyecto se explicaran cada uno de los pasos que se han dado en el programa utilizado Abaqus 6.11. Se verá como ha sido construido la tabla paso a paso hasta conseguir la forma más real y funcional posible para el programa.

También se explicara y mostrara, con graficas e imágenes, el ensayo de sensibilidad de malla realizado a la tabla donde se explicara cual es la malla más eficiente elegida en este proyecto.

- **Resultados:**

En este capítulo del proyecto se ilustraran, desarrollaran y explicaran los resultados obtenidos del programa y se hará una justificación de estos comparando la tabla modificada con piezas de material no newtoniano con la tabla normal.

- **Conclusión y trabajos futuros:**

En este capítulo del proyecto se hará una conclusión de los resultados obtenidos y se comprobaran los beneficios de esta idea en una tabla de snowboard.

También se hará una breve introducción a posibles trabajos futuros. En ellos se explicaran posibles ideas a aplicar en este mismo proyecto, ampliando así el estudio de esta idea con materiales no newtonianos así como otras ideas en relación a la mejora del servicio de una tabla de snowboard.

2. Antecedentes

2.1 Historia del snowboard

Todo empezó en los años 60 cuando América pasaba por un periodo de cambio en las formas de pensar y actitudes [3]. En aquellos años, el surf, que por aquel entonces ya era famoso, se convirtió en un deporte, una forma de vida para muchos americanos de la costa oeste. Tal fue el furor del surf que llegó incluso a lugares donde los océanos estaban a cientos de kilómetros como en el lago Michigan, donde en diciembre de 1965 cayó una gran nevada y el hombre de familia Sherman Poppen, quien dijo “la necesidad es la madre de la invención”, cogió los esquís de su hija pequeña, los ató en paralelo y los utilizó a modo de tabla de surf tirándose desde una colina como si de una ola se tratara. Así nació el SNURFER como combinación de la palabra snow y surf y que podemos ver serigrafiado en la siguiente imagen.



Fig. 2.1: El primer Snurfer en uso [3]

Por aquel entonces existía una empresa, Brunswick, que se dedicaba a la construcción de elementos en madera como bolos, pistas de bolos, etc donde Sherman tenía dos amigos ingenieros que se hicieron con la idea del Snurfer para así desarrollarla.

Se empezaron a hacer campeonatos con premios en metálico que reunían a gente de todo el país. Fue entonces, en 1979, cuando Jake Burton Carpenter, creador y fundador de “Burton Snowboards” dejó su trabajo como corredor de bolsa de Nueva York y con el dinero que heredó por el fallecimiento de su madre se involucró de lleno en este deporte, mejorando así los modelos de Brunswick con tecnología nunca vista antes.

En 1981 se realizó el primer concurso de snowboard donde se enfrentaría la costa Este, con riders más conservadores, frente a la Oeste, con riders más innovadores; Jake Burton, contra el que sería su competencia directa, Tom Sims. En la siguiente imagen vemos a estos dos grandes potenciadores de este deporte.



Fig. 2.2: Jake Burton (izq) y Tom Sims (drch) [4]

El snowboard cada vez coge más fuerza, sale en televisión y cada vez más gente lo prueba llegando a provocar que algunos esquiadores dejen el esquí para sólo hacer snowboard. Las estaciones de esquí se niegan a dar acceso a estos deportistas, como ellos dicen, a esos locos de las tablas, como si fuesen ciudadanos de segunda.

El estilo y las costumbres de aquellos skaters de la costa californiana, que escuchaban punk y estaban repletos de energía, motivó un cambio en el ambiente del mundo del esquí. Fue entonces cuando se pusieron de moda los piercings y los colores fluorescentes cambiando así la industria del esquí del momento. En la imagen siguiente podemos ver esta estética revolucionaria.



Fig. 2.3: Estética colorida de los años 80 [5]

Norm Saylor dueño de la estación Donner Ski Ramps fue quien aceptó los primeros 10 dólares que le dio un chico con tabla para poder bajar; a partir de ese momento la estación se llenó de jóvenes snowboarders. Esta fue la primera puerta abierta al snowboard.

Jake Burton, con su lenguaje técnico de hombre de negocios, también contribuyó en gran medida a que el snowboard se abriese cada vez más camino en el mundo del esquí. Mientras esto se producía los jóvenes del momento no podían esperar y montados en sus camionetas buscaban las mejores bajadas para poder hacer sus trucos. En la siguiente imagen, obtenida del video documental, podemos ver estos primeros vuelos aéreos autodidactas.



Fig. 2.4: Miembro del equipo Sims en 1983 realizando un truco aéreo [3]

En ese momento gracias a Tom Sims se desarrolló el concepto del “half-pipe”, es decir, una pista con forma de medio tubo donde los riders iban de una pared a otra despegando de ellas y haciendo ejercicios aéreos como los de la anterior fotografía. Sims quería introducir este concepto en el mundo de la competición, pero la tozudez de Jake Burton por asociar el snowboard únicamente a la competición de descenso de velocidad dificultó las cosas. En las siguientes imágenes podemos observar un half-pipe de competición con sus dimensiones reales.

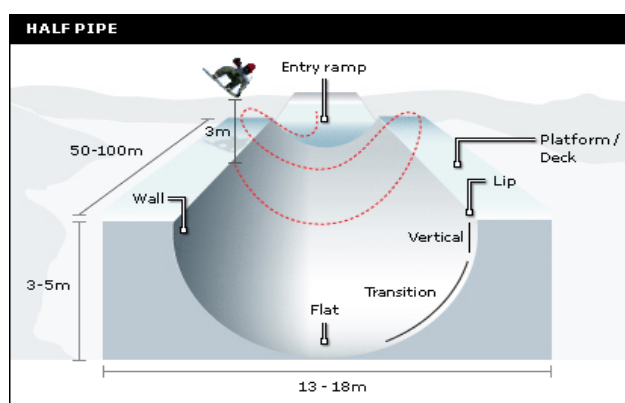


Fig. 2.5: En estas fotos se muestran la forma y las medidas de un half-pipe [6]

Ese mismo año, en 1983, se realizó el primer concurso de snowboarding donde se introdujo la modalidad de half-pipe, y fue gracias a ese concurso que dicha modalidad cogiera tanta fuerza. Es más, se convirtió en la estrella del snowboarding, era lo que todos querían ver y hacer.

En un nivel más empresarial, el snowboarding entró en el mundo ejecutivo como un poderoso filón económico y muchos inversores empezaron a interesarse por este deporte. En este aspecto

Jake Burton, como antiguo hombre de negocios, supo entender la situación y supo que debía hacerse con un gran rider de freestyle.

Tom Sims con un equipo competitivo no supo entender la situación como Jake y perdió a uno de sus mejores riders, al que todo el mundo consideraba el creador del auténtico freestyle, Craig Kelly. Éste no estaba muy contento con la compañía Sims, ya que pasaban los años y las tablas seguían siendo iguales, no había innovación, y dado que Craig era un rider consagrado al snowboard no podía progresar como a éste le gustaría. Fue entonces cuando Jake, por una gran suma de dinero, le introdujo en el equipo Burton y la compañía Sims quebró irremediabilmente. En la siguiente imagen vemos a Craig compitiendo ya para Burton.



Fig. 2.6: Craig Kelly volando para Burton Snowboards con su pro-model [7]

La unión entre Jake y Craig fue increíble, llegando a convertir este deporte en algo que todo el mundo quería hacer. Se convirtió en el campeón del mundo tres años consecutivos, siendo de esta manera prácticamente el responsable directo de que el snowboard resultara atractivo para la gente. Llegaba a ganar la increíble suma de 600.000\$ al año.

En aquel momento, el país (Estados Unidos) sufría una gran recesión que afectó en gran medida al mundo del esquí. Fue entonces cuando las estaciones de esquí empezaron a aceptar la entrada del snowboard ya que aportaban grandes sumas de dinero que el esquí ya no daba.

En 1990 este deporte coge una fuerza increíble y más de un cuarto de millón de esquiadores dejó de lado el esquí para pasarse al snowboard, ya incluso en la pista se empiezan a ver más de la mitad de la gente sobre tablas.

En el género femenino el snowboard también coge fuerza y gracias a un gran icono como Tina Basich más aún. Las grandes marcas no fabrican nada para las mujeres pero es Jake Burton el que se arriesga y abre una línea femenina. Se agotó todo de inmediato en las tiendas, a las mujeres también les gustaba. En la siguiente imagen se puede ver a Tina bajando con una tabla Sims.



Fig. 2.7: Tina Basich potencio el snowboard femenino [8]

Durante estos años surge otro gran icono del snowboard, Shaun Palmer, un rider muy loco pero muy competente en este deporte, quien empezó a destacar, llegando a ganar y arrebatarse el cuarto título del mundo por cuarta vez consecutiva al gran Craig Kelly. Entre la técnica depurada de Craig y la innovación e imaginación de Shaun, elevaron la calidad del snowboard a un gran nivel. En la siguiente imagen vemos a Shaun haciendo un truco aéreo.

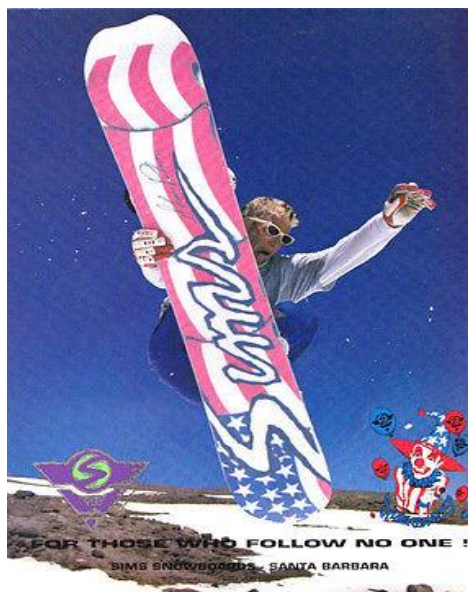


Fig. 2.8: Shaun Palmer para Sims Snowboards [9]

El snowboard en Europa comienza también, pero en otra línea completamente diferente a la estadounidense. Allí se apuesta más por el freeride, es decir, bajadas libres desde los picos más altos de las montañas, por fuera pista. En cambio en Estados Unidos se desarrolla más el concepto de freestyle con los halfpipes. Aun a pesar de que en Europa se hace más freeride, en Noruega surge un nuevo icono que revolucionó el snowboard del momento, Terje Hakonsen. Este rider destacó por unir la técnica de Craig Kelly y la velocidad, altura e imaginación de Shaun Palmer, convirtiéndose en otra leyenda de este deporte. En la siguiente imagen podemos ver a Terje en el half-pipe.



Fig. 2.9: Terje Hakonsen haciendo un ejercicio aéreo en half-pipe [10]

En una línea paralela al snowboard de competición se empieza a desarrollar el snowboard más inspirado en el skateboard que se solía hacer en California, lo que se conoce como street. Esta forma de hacer snowboard consistía en utilizar las barandillas, escalones, balcones y vallas como obstáculos sobre los que hacer trucos, aunque no era muy aceptado tanto por los riders de competición como por la gente en general, ya que decían que eso no era snowboard. En las siguientes imágenes podemos ver un ejemplo de este snowboard de calle.



Fig. 2.10: Algunas fotografías del snowboard en Street [3]

El snowboard debía seguir creciendo como deporte y una de la vías fue introduciéndose en los Juegos Olímpicos de 1998 en Nagano. El problema era la disconformidad que los jóvenes riders del momento presentaban contra el FIS (Federación Internacional de Ski) ya que éste era un órgano político enorme que rompía con la verdadera esencia de lo que era el snowboarding, es decir, una forma de libertad en la que cada persona se expresa como quiere sin que nadie le diga lo que tiene o debe hacer para ganar una medalla y el FIS era la antítesis de esta ideología. Por este motivo Terje Hakonsen renunció a presentarse a esta competición cuando sin lugar a dudas habría ganado no solo uno, sino dos juegos olímpicos. En las siguientes imágenes vemos los anagramas de ambas instituciones.



Fig. 2.11: Logos de los Juegos Olímpicos y FIS [11]

Hacia el 2000 y 2001 en pleno caos internacional entre Estados Unidos y los países árabes como consecuencia del atentado de las torres gemelas en Nueva York, Terje y Craig se alejaban del estrés de las competiciones buscando la paz en las montañas haciendo freeride, ya que para ellos el snowboard no era solo competiciones, era mucho más. Tristemente el 20 de Enero de 2003, cuando realizaban un fuera pista en Canadá, una avalancha sorprendió a la leyenda Craig Kelly y a seis compañeros haciéndoles perder la vida. Esta fue una gran pérdida para este deporte y aún se le recuerda como la leyenda que marcó un antes y un después en el comienzo del snowboard. En la siguiente imagen vemos a Terje y Craig juntos en la montaña.



Fig. 2.12: Terje (izquierda) y Craig (derecha) días antes del fatídico momento [3]

En este deporte la competición se vuelve casi el día a día de cada deportista y es por ello que surgen los campamentos, campamentos a los cuales van los niños con el fin de sacar su máximo potencial. En estos sitios se empiezan a ver dos tipos de niños: los niños cuyas familias adineradas pueden abrirles paso y los que no lo son tanto siendo la única apuesta, el único cartucho de los padres.

En este entorno surge la leyenda, hoy en día en activo con 10 medallas de oro en los X-Games y dos veces oro en los Juegos Olímpicos, Shaun White. Con tan solo seis años se montó en su primera tabla de snowboard demostrando un gran potencial sobre ésta. Actualmente es el icono del snowboard mundial. En las siguientes imágenes vemos a Shaun en uno de sus videos

promocionales y ganando los Juegos Olímpicos de 2010.



Fig. 2.13: Shaun White entrenando (izquierda) y ganando los JJ.OO. de 2010 (derecha) [12]

Como viene ocurriendo desde el comienzo del snowboard, a Shaun le salió un duro rival, Kevin Pearce, quien le pisaba los talones en las competencias. Durante unos entrenamientos en half-pipe, Kevin tuvo un accidente en el que sufrió un fuerte traumatismo craneoencefálico que le dejó en coma, con muchos problemas en el sistema motriz de su cuerpo y sin posibilidad de recuperarse al mismo nivel al que estaba, dejando así vía libre a Shaun en su ansia por conquistar títulos. En las siguientes imágenes vemos a Kevin grabando para un anuncio.



Fig. 2.14: Kevin en el half-pipe [13]

2.2 Evolución tecnológica

La primera tabla que se creó fue en los años 60 y consistía en dos esquís de 81 cm de altura unidos por cuerdas [3]. Por esa misma década la compañía Brunswick confeccionó las primeras tablas de Snurfer donde la idea primigenia se conservaba, pero los esquís venían unidos de fábrica como se ve en la figura 2.15. Llevaban un cable para elevar la punta y así no clavarse en la nieve. Eran muy difíciles de manejar por aquel entonces. En la siguiente imagen se puede ver el cartel publicitario de este Snurfer.



Fig. 2.15: Cartel publicitario de las primeras tablas de Snurfer [14]

Estas tablas llegaban a durar hasta 12 años, según afirman algunos de sus usuarios. Fue entonces cuando, cansado de estas tablas imposibles de manejar, Jake Burton decidió construir sus propias tablas. Las hizo más anchas y grandes e incorporó una especie de correas con las que sujetar así los pies sobre estas. En la siguiente imagen se puede ver el primer modelo de Burton.



Fig. 2.16: Tabla Burton de 1982 [15]

La dura competencia entre Sims y Burton hizo que este deporte y su tecnología evolucionaran rápidamente. Las siguientes tablas presentaban ya cantos metálicos como los de hoy en día, con una suela de Petex (plástico extruido) y una cola de granito y ABS, siendo las fijaciones de grafito y kevlar. En la siguiente imagen se puede ver la primera tabla con gran tecnología por Sims.



Fig. 2.17: Tabla Sims de 1990 [16]

Estas tablas presentan un perfil de construcción tipo “Cap”, conformada por una suela de plástico sinterizada sobre la cual se colocaba el núcleo de madera, el cual a su vez estaba cubierto por la parte superior y los laterales de una lámina de fibra de vidrio [17]. En su periferia inferior se colocaban unos cantos de metal insertados en el núcleo. Con este tipo de construcción se transmitía la presión al canto metálico de un modo más directo aparte de que su construcción era mucho más barata. El problema era el peso, y es que estas tablas al tener un núcleo entero de madera las hacía muy pesadas. En la siguiente imagen se puede ver la sección de una tabla con construcción “Cap”.



Fig. 2.18: Perfil de construcción tipo “Cap” [18]

Después de la construcción “Cap” se desarrolló la construcción tipo “Sándwich” muy utilizada actualmente en multitud de objetos con el fin de dar mayor respuesta pero con menos peso, aumentando así su versatilidad sobre la pista.

Esta construcción consiste en colocar una serie de materiales unos encima de otros configurando la tabla final, en este caso y empezando de abajo arriba encontramos la suela de la tabla de un material denominado P-Tex, el cual es un plástico extruido capaz de absorber la cera que nutre el núcleo (madera) de la tabla y de disminuir considerablemente la fricción con la nieve. Integrados entre el P-Tex y el núcleo se insertan los cantos metálicos. Después algunos modelos incorporan una lámina de goma para absorber las vibraciones que transmiten los cantos. A continuación una lámina de fibra de vidrio para ya colocar el núcleo de madera, esta vez el núcleo es de un espesor mucho menor ya que la rigidez que antes daba un núcleo mayor nos lo dan las láminas de fibra de vidrio y de carbono que colocaremos a continuación. Por encima como hemos dicho anteriormente se coloca una lámina de fibra de vidrio y bandas de fibra de carbono para los puntos más críticos. Por último se coloca una lámina de poliamida para cerrar la construcción. Para finalizar la construcción en sándwich de una tabla de snowboard colocaremos unas bandas de ABS en los laterales. En las siguientes imágenes se puede ver el desglose de material y la sección de una construcción “Sandwich”.

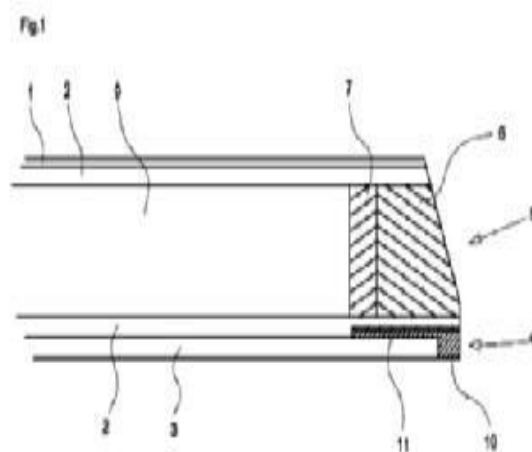
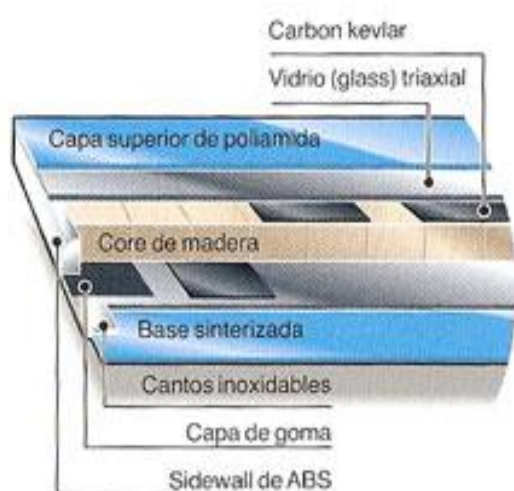


Fig. 2.19: Perfil del interior de una tabla de snowboard tipo “Sándwich” [19]

Hoy en día, ésta es la construcción que llevan todas las tablas que se venden siendo la más efectiva hasta el momento, donde las variaciones entre una tabla y otra van en función del número de láminas de fibra de vidrio o la existencia o no de bandas de fibra de carbono. También la orientación de la beta de la madera en su interior se modifica para dar mayor reactividad y mayor control.

Una vez desarrollada toda la información acerca de la construcción de las tablas de snowboard vamos a explicar algunas de las tecnologías más recientes aportadas por las siguientes marcas:

- Nitro snowboards: una de las partes que más suelen romper en una tabla de snowboard en freestyle son los cantos metálicos como consecuencia del choque metal-metal producido entre el canto y el módulo. Por ello Nitro desarrollo unos cantos más gruesos con unos inserts (anclajes internos en la madera) más profundos para así hacerlos más resistentes. A estos cantos se les conoce como Rail Killer Edge. En la siguiente imagen se puede ver la comparativa entre un eje normal y el Rail Killer Edge.



Fig. 2.20: Comparativa entre un canto normal y un Rail Killer Edge [20]

- Salomon snowboards: con el fin de suavizar los grandes impactos y amortiguar las vibraciones que experimentan las paredes de ABS de los laterales, Salomon desarrolló unos bloques de goma blanda de unos 4 mm de espesor que inserto en las zonas de máxima presión como es la zona de las fijaciones. En la siguiente imagen se puede ver la goma blanda en forma de rectángulo negro.

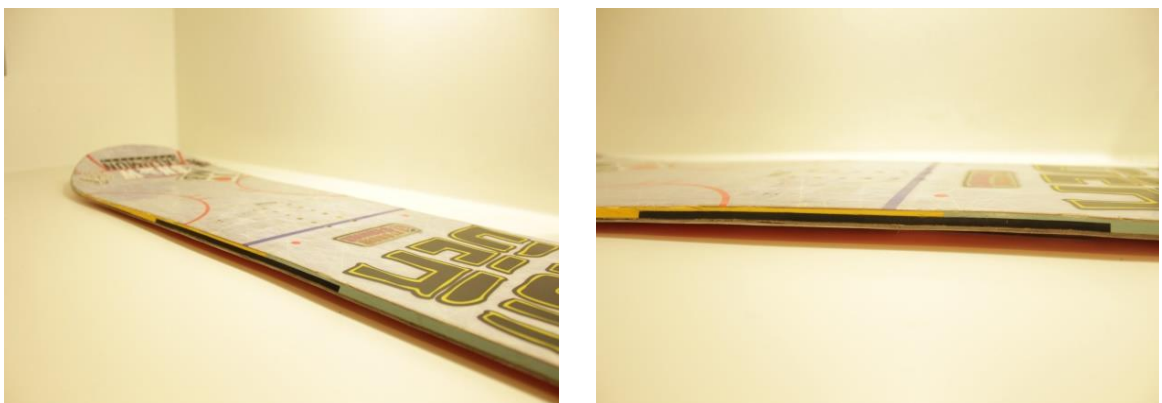


Fig. 2.21: Injerto de goma en el perfil de la tabla

- **Burton snowboards:** Burton considero que la capacidad de torsión de una tabla venia delimitada por los anclajes de las fijaciones por lo que desarrollo un tipo de anclaje diferente, el denominado “The Channel”, el cual se trata de un carril longitudinal en el que se insertan unas piezas con unos tornillos con los que enganchan las fijaciones. En las siguientes imágenes se puede ver la diferencia en el sistema Burton y convencional, así como una tabla Burton con sus sistema.

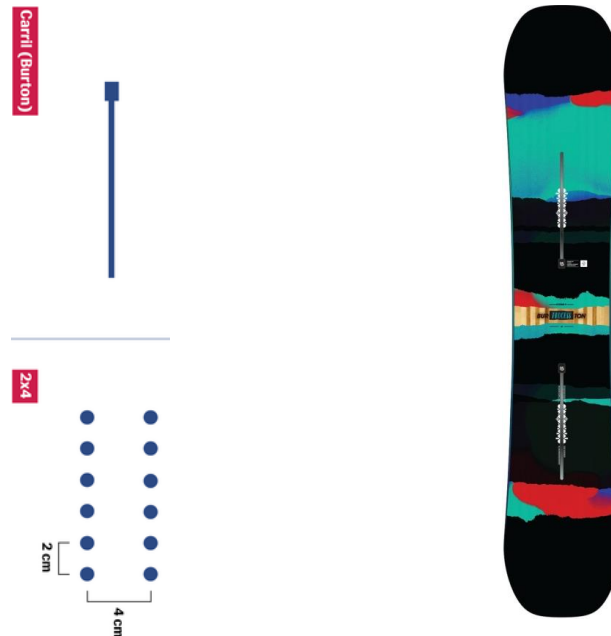


Fig. 2.22: Sistema carril frente a sistema convencional y tabla con sistema carril [21]

- **Libtech snowboards:** ante la dificultad de conducir la tabla sobre zonas de hielo Libtech desarrollo un tipo de canto denominado Magnetration. Este canto tiene una forma ondulada como si de una sierra se tratara, con el fin de que en cada momento de la bajada por el hielo, al menos ciertos puntos del canto estén clavado en el hielo evitando así patinar sobre el sin ningún tipo de control. En las siguientes imágenes se puede ver el esquema de la marca sobre su sistema Magnetration y el canto de una tabla con este sistema.

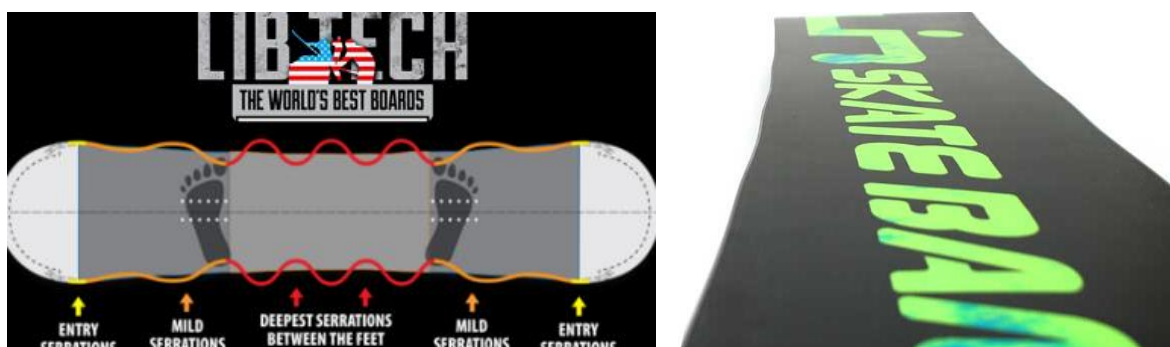


Fig. 2.23: Esquema de la tecnología “Magnetration” y tabla real [22]

2.3 La tabla de snowboard actual

2.3.1 Partes de una tabla

A continuación se van a explicar las partes y zonas que se diferencian dentro de una tabla de snowboard para poder entender las explicaciones posteriores [23]:

- Nose: la parte delantera de la tabla, la cual esta elevada para mantener la tabla por encima de la nieve y superar obstáculos.
- Tail: la parte trasera de la tabla, la cola, esta puede estar elevada como el “nose” por si cambiamos nuestra posición en la bajada o plana si es una tabla enfocada al snowboard alpino.
- Canto efectivo: la parte del canto de nuestra tabla que va a estar en contacto constante en un giro. Cuanto mayor canto efectivo mayor superficie de apoyo, luego mayor estabilidad.
- Camber: si se observa la tabla de perfil se puede observar una curvatura entre el “nose” y el “tail”, este es el camber. Hoy en día hay muchos tipos de camber que benefician más un tipo u otro de snowboard, esto se explicara más adelante.
- Ancho del patín: esta es la anchura de la tabla en su sección media y determina el radio de curvatura. Esto quiere decir que las tablas más estables y destinadas a altas velocidades, tendrán un ancho de patín más grande, mientras que las que están destinadas al snowpark, donde las velocidades nos son tan altas, serán más estrechas aportando mayor maniobrabilidad.
- Stance: esta es la distancia que hay entre fijaciones. Dependiendo del snowboard que se vaya a realizar, interesa un stance más o menos grande ya que dará más o menos estabilidad. Si se trata de un snowboard alpino el stance será mayor y menor si se trata de un snowboard más de snowpark.
- Ancho del nose/ancho del tail: esta medida generalmente suele ser igual para ambos, a excepción de las tablas que se utilizan en “powder” (nieve virgen) donde el ancho del nose es mayor para mantener una mejor flotabilidad.

En la siguiente imagen se puede ver el esquema de la partes de una tabla donde se indican las distancias más relevantes.

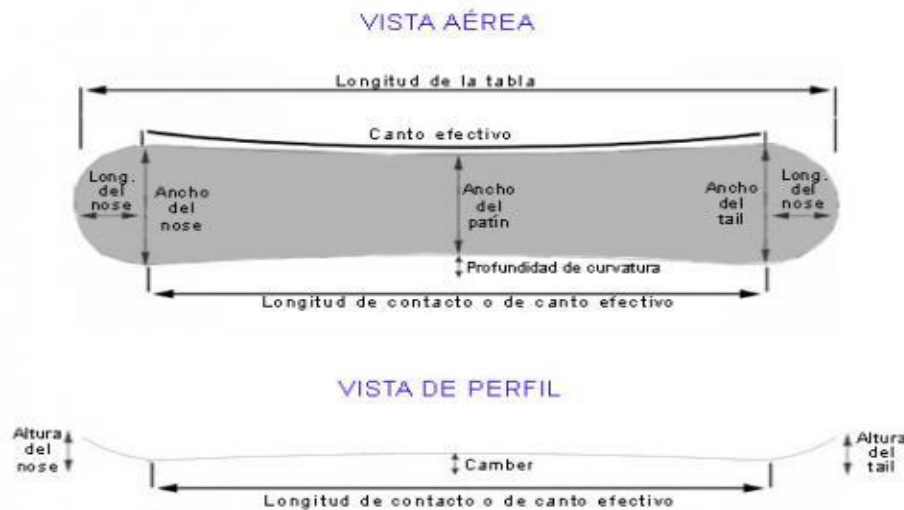


Fig. 2.24: Nomenclatura de las partes de una tabla de snowboard [24]

2.3.2 Tipos de camber

Ahora se explicarán los diferentes tipos de camber que se pueden encontrar según la modalidad que se vaya a realizar en la montaña, para así sacar el máximo partido a la tecnología de cada tabla. Estos son los tipos de camber que existen y que se muestran a continuación:

- **Powder rocker:** este camber está diseñado para días de nieve polvo. El camber está retrasado coincidiendo con la fijación trasera, esto es para facilitar la flotabilidad de la tabla creando reacción al presionar hacia atrás.
- **Hybrid rocker:** este tipo de camber sitúa la reacción debajo de cada pie combinada con un camber rocker haciendo una tabla más polivalente tanto para el snowpark como para saltos.
- **Zero:** este tipo de camber está orientado en exclusiva al snowpark ya que al no haber ningún tipo de reacción bajo los pies es idónea para montarse encima de las barandillas sin desequilibrarse.
- **Classic rocker:** este tipo de camber fue pensado para facilitar el aprendizaje de principiantes ya que al tener levantados los extremos evita enganchones. Este camber también es muy positivo para hacer “powder”.
- **Camber:** este es el camber de toda la vida, el primero que se desarrolló, el cual genera una gran reacción en el centro de la tabla ayudando a saltar más, siendo ésta la razón por la cual se utiliza en saltos y half-pipes.

En la siguiente imagen se puede ver el perfil de cada tipo de camber explicados anteriormente.

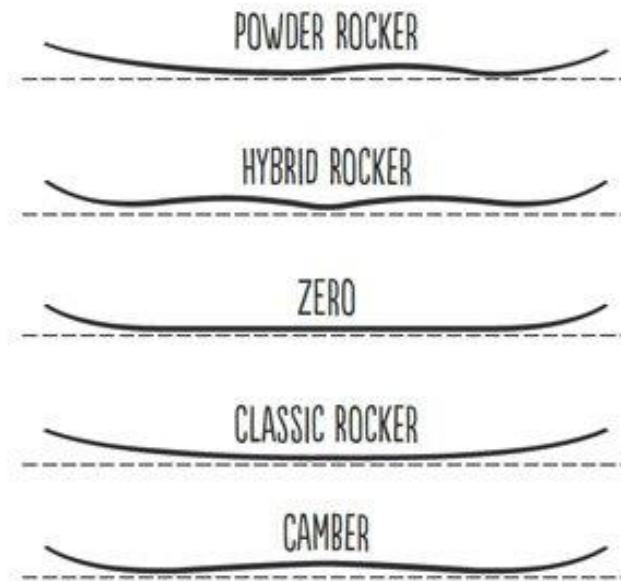


Fig. 2.25: Tipos de camber [25]

2.3.3 Modelos de tabla

Cabe destacar que dentro del concepto “tabla de snowboard” hay varios modelos según qué tipo de snowboard se realice. A continuación se explicarán los tipos:

- **Freestyle:** este tipo de tablas son las empleadas en el snowpark, por ello son más cortas y estrechas para una mejor maniobrabilidad. También son más blandas para transmitir mejor los movimientos y facilitar así la ejecución de trucos. El camber predominante es el zero, el classic rocker y el camber. En la figura 2.26 se puede ver un modelo de tabla freestyle de la marca Salomon, modelo en el que se basa la tabla de este proyecto.



Fig. 2.26: Tabla de freestyle Salomon Salomonder

- Freeride: este tipo de tablas están destinadas a un uso más polivalente, es decir, ya sea para pista, snowpark o half-pipe, por ello son un poco más largas y más duras que las de freestyle para poder responder a las exigencias de cada terreno. El camber predominante es el camber y el hybrid rocker. En la siguiente imagen se puede ver una tabla de freeride de la marca Salomon.



Fig. 2.27: Tabla de freeride Salomon XLT [27]

- Alpina: este tipo de tablas están destinadas a utilizarse en el descenso de montañas con pendientes de hasta ochenta grados en las cuales se alcanzan grandes velocidades. Estas tablas son más grandes con un ángulo de giro muy pequeño para generar estabilidad sobre ella y con una dureza máxima para soportar las altas torsiones a las que se verá sometida. El camber predominante es el powder rocker y el camber. En la siguiente imagen se puede ver una tabla alpina de la marca Salomon.

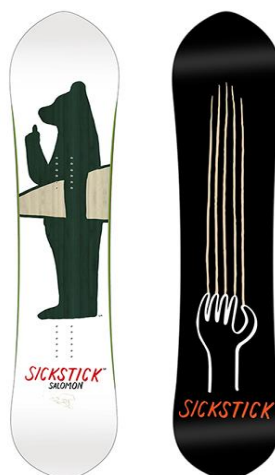


Fig. 2.28: Tabla alpina Salomon Sickstick [28]

- Splitboard: este tipo de tabla nace del deseo de poder ascender por una montaña con unos esquís de travesía y poder descender esta con una tabla de snowboard, se podría decir que es un dos en uno. Esta tabla tiene una tecnología tal que se separa por la mitad dejando libres estos esquís y mediante unos anclajes especiales se rotan las fijaciones de snowboard como si de un esquí se tratara. En la siguiente imagen se puede ver un splitboard de la marca Salomon.



Fig. 2.29: Splitboard Salomon Premiere [29]

2.4 Roturas habituales

En este deporte las razones por las cuales una tabla de snowboard se rompe son muchas y a continuación explicaremos algunos de los ejemplos más frecuentes.

- Rotura de canto:

Esta rotura suele ser muy habitual cuando se choca violentamente contra un palo de hierro o una roca. Deberá ser reparado inmediatamente ya que se corre el riesgo de que entre agua al núcleo de madera, pudriéndose y rompiéndose del todo. En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de un impacto ocasionado por golpear una valla.

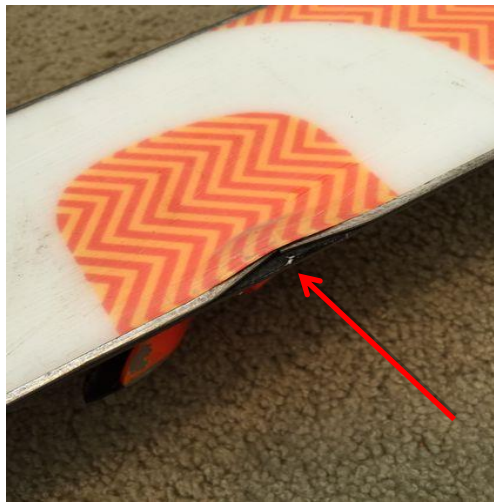


Fig. 2.30: Impacto lateral [30]

- Canto arrancado:

Esto se produce generalmente con tablas que han sido usadas en snowparks donde pequeñas esquirlas de metal fisuran el canto y más adelante este mismo canto se engancha y es arrancado como consecuencia de su debilidad. En estos casos se suele quitar este tramo de canto e insertar otro soldándolo con el resto. En la siguiente imagen se puede ver una parte de canto arrancado.

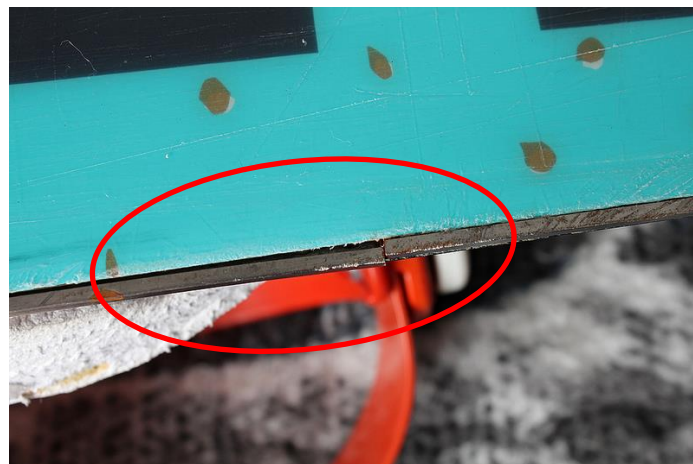


Fig. 2.31: Canto fracturado y arrancado [31]

- Rotura de suela:

La rotura de la suela de snowboard es muy común en este deporte ya que a veces, donde parece haber nieve, hay rocas ocultas que producen incisiones profundas en ésta, pudiendo llegar al núcleo. En la gran mayoría de los casos este problema se soluciona fundiendo sobre la incisión el mismo material del que está hecha la tabla, el P-Tex, creando así suela nueva. En las siguientes imágenes se puede ver una rotura de la suela y como son reparadas.



Fig. 2.32: Incisión en la suela (izquierda) y reparación con P-Tex en barra (derecha) [32]

- Fractura de nose o tail:

Este tipo de fracturas suelen ser muy habituales ya que el aterrizaje de un truco o un salto no siempre es perfecto pudiendo aterrizar con el peso retrasado. Cuando esto sucede se transmite todo el peso a un extremo de la tabla fracturándola, ya que esta parte no está diseñada para soportar de manera habitual tensiones de esa índole. Tras este tipo de roturas la tabla es irreparable. En la siguiente imagen se puede ver una fractura en el tail de la tabla.

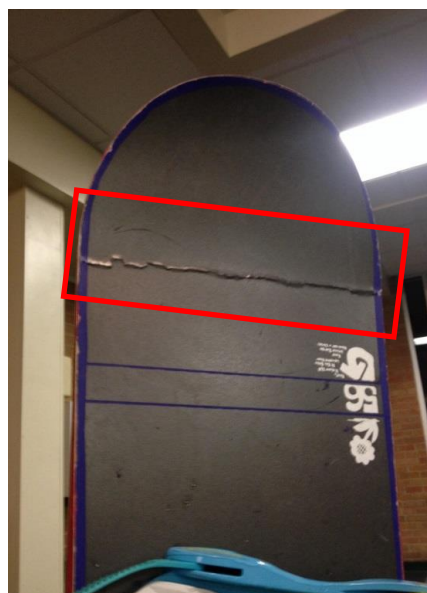


Fig. 2.33: Fractura de tail [33]

- Fractura de la parte media de la tabla:

Este tipo de fracturas sólo suelen darse en el snowpark como consecuencia de realizar gaps sobre rails, es decir, realizar un vuelo largo y alto para aterrizar sobre una barandilla. En este caso las tablas son desechadas directamente ya que son irreparables. En las siguientes imágenes se puede ver como un salto de las características de la imagen de la izquierda puede afectar a una tabla (foto de la derecha).

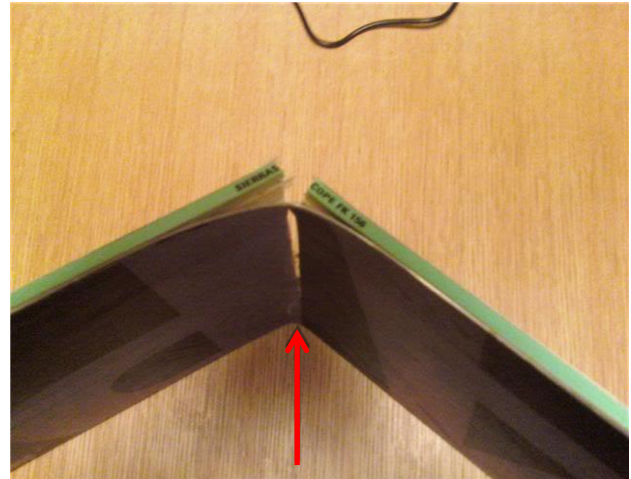
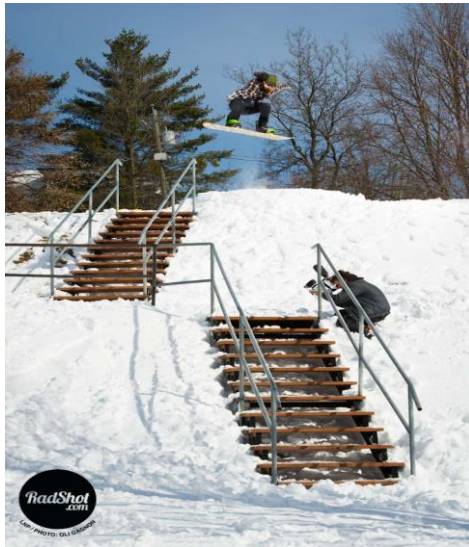


Fig. 2.34: Snowboarder saltando hacia un rail (izquierda) y tabla partida (derecha) [34]

- Fractura al nivel de la fijación:

Este tipo de fracturas también son de las más comunes ya que justo donde termina la fijación nos encontramos con el punto más crítico de la tabla. En este punto se acumula la tensión que no es absorbida por la fijación, siendo ésta muy superior a la admisible por la tabla. Ante este tipo de roturas, las tablas también se desechan. En la siguiente imagen se puede ver el caso concreto del estudio que en este proyecto se trata.



Fig. 2.35: Fractura de tabla al nivel de la fijación [35]

2.5 Material no newtoniano

Antes de hablar de los fluidos no newtonianos se va a exponer lo que es un fluido newtoniano. [36] Se dice que es aquel en el que se cumple que el esfuerzo de cizalla es proporcional a la velocidad de deformación, que como ya vimos en la asignatura de elasticidad se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{xy} = \mu \frac{\partial v_y}{\partial x} = \mu \dot{\gamma}$$

Donde σ_{xy} es el esfuerzo por unidad de área o esfuerzo a cizalla; $\dot{\gamma}$ es el gradiente de velocidades o velocidad de deformación y μ la viscosidad. Con esto se puede concluir que en los fluidos newtonianos la viscosidad, para una temperatura y presión dadas, es constante para cualquier velocidad de deformación, independiente del tiempo que se esté aplicando el esfuerzo. En la siguiente ilustración se puede observar el efecto del esfuerzo de cizalla sobre un sólido, indicándose el perfil de velocidad.

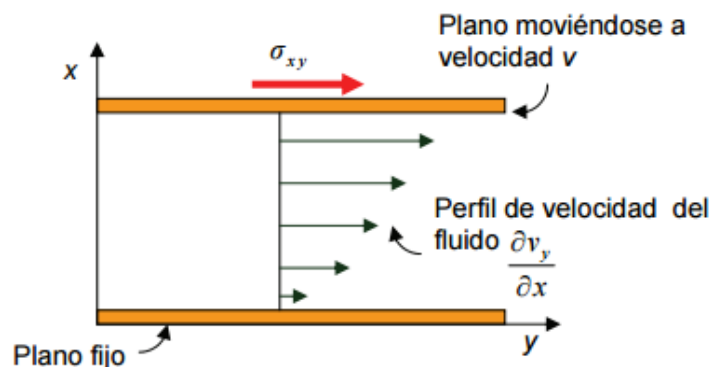


Fig. 2.36: Esfuerzo de cizalla sobre un fluido [36]

Hoy en día el material no newtoniano en estado sólido no está muy desarrollado, sólo algunas marcas como por ejemplo Fischer lo han conseguido. Por ello, en este apartado sólo se hablará de lo que es un fluido no newtoniano, ya que éste sí está más extendido, explicando sus propiedades y cualidades.

Un fluido no newtoniano es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión aplicada, por ello los fluidos no newtonianos, a diferencia de los newtonianos, no tienen un valor de viscosidad definido. Los fluidos no newtonianos se pueden agrupar, entonces, en dos grandes categorías:

- Aquellos para los que la viscosidad cambia con la velocidad de deformación
 - Dilatantes: aumenta su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación aplicada. Ejemplos: almidón de maíz o arenas movedizas.

- Pseudoplasticos: disminuye su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación aplicada. Ejemplo: zumos de frutas.
 - Viscoplasticos o de comportamiento plástico: se comportan como un sólido elástico hasta que alcanzan un valor umbral, a partir del cual se comportan como un fluido donde el esfuerzo puede tener una dependencia lineal con la velocidad de deformación o no. Ejemplos: pasta de dientes o mermelada.
- Aquellos para los cuales la viscosidad cambia con el tiempo durante el esfuerzo
 - Tixotrópicos: la viscosidad disminuye con el tiempo. Ejemplos: pintura o gelatina.
 - Reopécticos: la viscosidad aumenta con el tiempo. Ejemplo: poliéster.

Este tipo de fluidos, por tanto, se comportan como un fluido newtoniano cuando la aplicación de tensión es pequeña, pero si la tensión a la que es sometido es intensa y en un breve espacio de tiempo el material se estresa aumentando su viscosidad en proporción a dicha solicitud.

Un ejemplo muy claro de fluido no newtoniano, como ya se ha dicho anteriormente, y que se puede hacer en casa, es la mezcla de agua con almidón de maíz. Esta mezcla en escasos minutos nos demuestra las cualidades de este increíble comportamiento. En las siguientes imágenes se puede ver el efecto de este fenómeno característico de los fluidos no newtonianos.



Fig. 2.37. Fluido no newtoniano frente a impacto (izq) y estado natural (drch) [37]

La marca de esquís Fischer desarrolló hace un año una idea similar a la que se plantea, pero en esquís. Estos colocaron bajo las fijaciones unas piezas de este material, el AMF Material, con el fin de dar una menor rigidez en terrenos más abruptos, donde se requiere que este material proporcione al esquí una menor dureza. Por el contrario daría una mayor rigidez cuando se bajara pista a gran velocidad donde se requerirá que el material proporcione al esquí mayor dureza con el fin de dar más estabilidad sobre este. A continuación, en las siguientes imágenes se puede ver el desarrollo del material conseguido por Fischer y cómo se comporta ante una carga de baja intensidad.

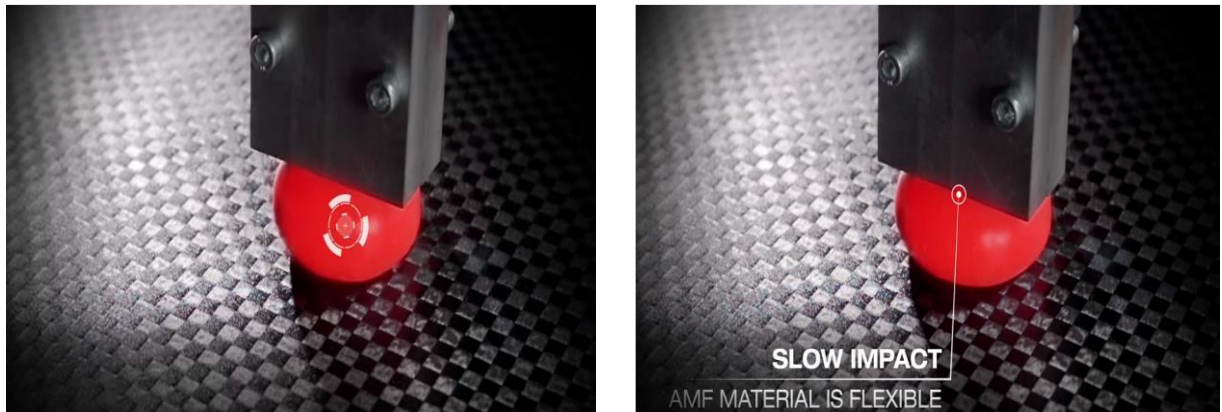


Fig. 2.38: Evolución del material ante un impacto lento [38]

Como se puede ver, el material se deforma considerablemente ante un impacto lento permitiendo así una adaptación mejor ante multitud de imperfecciones del terreno. En las siguientes imágenes se verá el desarrollo de este material ante un impacto rápido.



Fig. 2.39: Evolución del material ante un impacto rápido [39]

Como se ve en la secuencia de este impacto rápido el material apenas se ha deformado, conservando prácticamente su forma original.

3. Planteamiento del problema

En este apartado se va a explicar la idea fundamental de este proyecto, aclarando las simplificaciones que se han asumido para simular el ensayo, así como los datos específicos para la resolución de éste.

3.1 Introducción

Como ya se vio en el apartado 1.2, el objetivo del presente trabajo es la mejora del rendimiento de una tabla de snowboard mediante la introducción de un material no newtoniano en su interior, para evitar la fractura de ésta y mejorar su comportamiento a flexión. Como ya se ha explicado en el apartado 2.5, este material se estresa aumentando o disminuyendo su viscosidad según la variación de tensión experimentada, por ello se ha considerado como una opción viable en el aumento del rendimiento de la tabla.

Las piezas de este material se insertarán transversalmente en el núcleo de la tabla a ambos lados de cada fijación. Dado que la tabla estará sometida a tensiones de tracción y compresión tanto en la capa superior como en la inferior será necesario insertar dos filas de este material en la madera, localizadas en los extremos del espesor de esta. Una forma clara de entender el mecanismo es comparándolo con el juguete de la serpiente de madera. Ésta es entera de madera y tiene espacios entre cada pieza para poder darle movilidad al cuerpo. La idea es colocar en esos huecos este material con el fin de, o bien dar movilidad controlada o absorber un posible impacto. A continuación se ilustra el símil de la serpiente de madera.



Fig. 3.1: Serpiente de madera y detalle de su cuerpo [40]

Una de las primeras preguntas que se resolvieron a la hora de afrontar este modelo fue el por qué no colocar estas piezas a lo ancho del núcleo de madera y no pequeñas piezas insertadas, tal y como se llevará a cabo finalmente. La respuesta fue que el lugar de mayor acumulación de energía a la hora de saltar con una tabla de snowboard es justo al final de las fijaciones por lo que si se colocara una pieza entera, la capacidad resistiva que nos da el núcleo de madera se perdería, por ello se tuvo que buscar un equilibrio entre la madera y las piezas.

El fin de la colocación de estas piezas en los extremos de cada fijación, es la disipación de la energía generada en esta zona próxima a la fijación. La idea es colocar en el núcleo de madera, a ambos lados de cada fijación piezas transversales a la tabla injertadas en el núcleo de madera. Estos injertos irán situados en las capas más exteriores del núcleo dejando una parte central de madera para que la tabla siga teniendo esa reactividad que nos interesa para poder saltar. Las piezas son de sección $1.5 \times 3 \text{ mm}^2$ y habrá hasta un total de once piezas, once en la parte superior del núcleo y once en la parte inferior. Esta configuración que se acaba de describir se repetirá a cada lado de la posición de cada fijación dando lugar a cuatro zonas. Con esto se busca generar un efecto acordeón liberando así tensión de las capas extremas del núcleo, que como se sabe por resistencia de materiales son las zonas de máxima tensión en una pieza sometida a una sollicitación.

Hasta ahora solo se ha hablado de las piezas a tracción, pero las sometidas a compresión son también de vital importancia ya que mientras las de tracción liberan energía de la capa en la que se encuentre, en la capa contraria se busca una conservación de la forma ya que si esta flectara sin control fracturaría irremediablemente. Por ello este material sometido a compresión es fundamental para el correcto funcionamiento, ya que éste se estresaría aumentando su viscosidad, y como ya se vio en la Fig. 2.38 conservaría la forma.

3.2 Tipos de ensayo

En esta parte se van a explicar los dos movimientos que se van a estudiar y porqué éstos han sido los elegidos. Los movimientos se denominarán “de impacto” y “de flexión”.

- De impacto:

Este es el movimiento que más afecta a una tabla de snowboard, como ya se ha visto anteriormente en el apartado 2.4. Este es uno de los movimientos que se va a estudiar y en el cual actuara el material no newtoniano de manera vital para la tabla, ya que enviara la tensión generada en los límites de las fijaciones con la tabla hacia la parte media de esta donde la tensión no afecta tanto. Como se ve en las imágenes siguientes, y señalado con una flecha roja, el momento del impacto de la tabla con el rail y la deformación de esta.



Fig. 3.2: Momento del impacto de una tabla con un rail [41]

- De flexión:

Este es uno de los movimientos que se suelen ejecutar sobre los rails donde se busca que la tabla se eleve lo máximo posible, considerado así como marcar el truco. Para ello el material no newtoniano, al no sufrir un impacto rápido ni fuerte sino suave, permitirá que la tabla se flecte más dando mayor estilo a éste y haciéndolo más técnico. En las imágenes siguientes se puede apreciar la elevación generada por este tipo de truco y la flexión que experimenta la tabla.



Fig. 3.3: Imagen lateral y frontal de un truco de gran flexión [42]

3.3 Geometría

La tabla que se ha elegido para el ensayo procede de la marca comercial Salomon cuyo modelo seleccionado es el Salomonder con una medida de 151 cm. Este ha sido el modelo elegido ya que su camber es de tipo Zero, como ya se vio anteriormente en el apartado 2.3.2, y simplifica en gran medida el modelo a la hora de trabajar con él en el programa Abaqus 6.11. Por otro lado esta es una de las tablas más utilizadas en el snowpark. Las medidas de esta se detallan a continuación en la tabla 3.1.

Salomon Salomonder 14/15	
Talla	151 cm
Superficie de contacto	1130 mm
Canto efectivo	1170 mm
Radio de curvatura	7.6 m
Ancho del patín	250 mm
Longitud del nose	190 mm
Ancho del nose	298 mm
Longitud del tail	190 mm
Ancho del tail	298 mm
Stance recomendado	570 mm
Stance mínimo	474 mm
Stance máximo	626 mm

Tabla 3.1: Dimensiones de la tabla [43]

En cuanto a los espesores de los materiales en el interior de la tabla se decidió cortar una tabla usada por la parte media y la parte final, ya que son las dos zonas de espesor distintos, para poder tomar medidas de manera más precisa. La tabla cortada se trata de una Salomon Salomonder del año 2014 en relación con las medidas de la tabla 3.1. A continuación se muestran las imágenes de la tabla cortada por ambas zonas y en la tabla 3.2 las medidas de los espesores obtenidos.

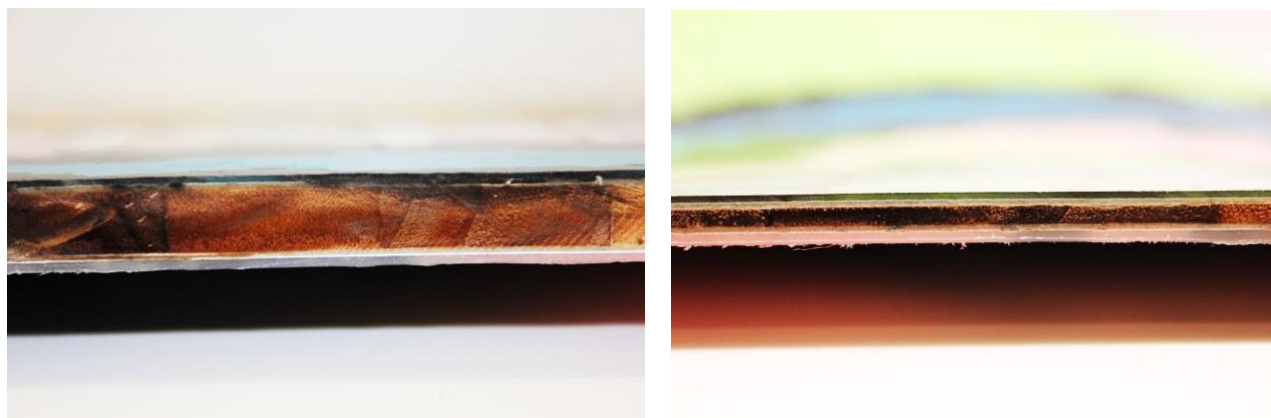
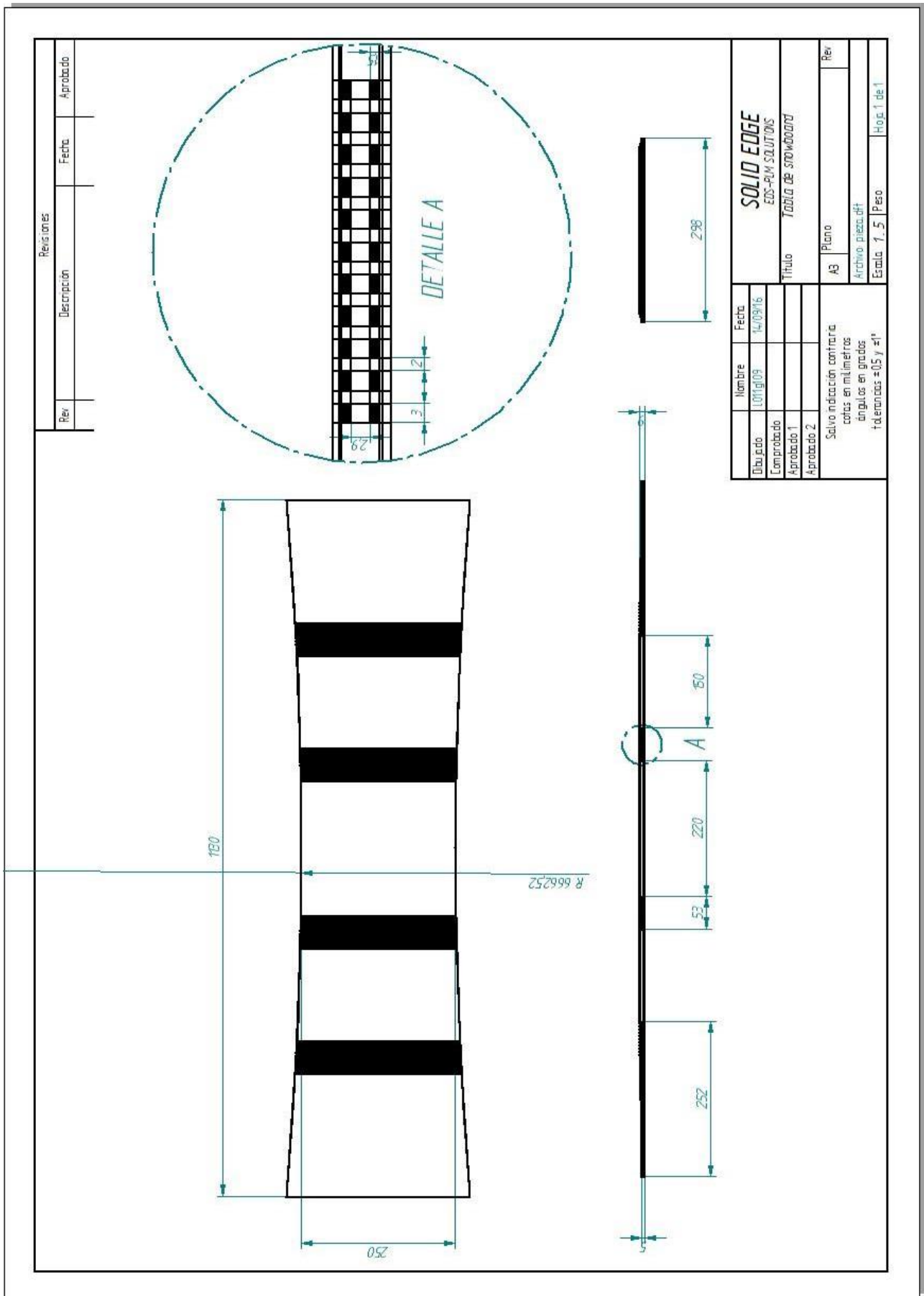


Fig. 3.4: Espesor parte media (izq.) y parte final (der.)

	Sección Media	Sección Final
Plástico	1mm	1mm
Fibra de vidrio	0.3mm	0.3mm
Madera	5.9mm	2mm
Fibra de vidrio	0.5mm	0.5mm
P-tex	1.3mm	1.3mm
Total	9mm	5mm

Tabla 3.2: Espesor de cada material según la zona de corte

Por último, se va a mostrar un plano acotado de las tres vistas de la tabla generada en Abaqus 6.11. Estos planos se han realizado con el programa Solid Edge V19 y como se puede ver en el plano resalta que no tenga la punta curvada, esto es porque esa parte solo sirve para pasar la nieve por debajo de la tabla y a la hora de hacer el ensayo era innecesario incluirlo. Por otro lado, las franjas negras situadas a ambos lados de cada fijación, como ya se explicó en la última parte del apartado 3.1, son las piezas de material no newtoniano que al tener un espesor tan pequeño el programa lo muestra de esa manera. Por ello se ha hecho un plano detalle de la zona A en el que se visualiza cómo es esa zona en concreto. Cabe destacar que los rectángulos negros que aparecen en la imagen Detalle A son las piezas de este material. La escala del plano es 1:5.



3.4 Materiales empleados

En este punto vamos a determinar que materiales se van a usar y las propiedades de éstos, además de justificar la elección de cada material. Los materiales son:

- P-Tex: este es el material del que está hecha la suela de las tablas de snowboard. Se trata de un polímero que ofrece una gran estabilidad dimensional, alta resistencia, con una excelente resistencia al desgaste y un coeficiente de fricción muy bajo. Todas estas propiedades son las idóneas, ya que necesitamos que la tabla deslice lo máximo posible, es decir, un coeficiente de fricción bajo. Aunque la fricción sea baja, ésta sigue existiendo y dado que ese es su fin, deberá ser un material resistente al desgaste. Por último, éste deberá ser un material de alta resistencia ya que se verá sometido a fuertes impactos con barandillas, lo que viene a ser el foco de este proyecto.
- Fibra de vidrio: este composite que introducimos en la tabla sirve para rigidizar y aligerar la misma, dando una buena resistencia y comportamiento a ésta. La fibra de vidrio que hemos seleccionado es la de tipo E-Glass dado que es la utilizada por esta industria, esta será dispuesta en varios ángulos según la calidad de la tabla. En nuestro ejemplo de tabla hemos situado tres laminas en la parte inferior (entre el P-Tex y la madera) y dos laminas en la parte superior (entre la madera y el plástico protector), con una orientación de 0° , 45° y -45° para el laminado inferior, y 0° y 90° para el laminado superior.
- Madera: la madera es la parte más importante de la tabla, es el núcleo, por ello hemos elegido para nuestro modelo una madera de origen canadiense, siendo ésta la más famosa en este mundo por su buena respuesta en este tipo de productos. Presenta una densidad media, ya que se busca que nos dé un equilibrio entre resistencia, reactividad y ligereza.
- Topsheet plastic: este material es un policarbonato que sirve para proteger el núcleo de la tabla y darle impermeabilidad. Se trata de un material con una gran resistencia ante los impactos, buena resistencia a flexión y comportamiento ante flujos fríos de líquido. Además tiene una baja densidad, lo cual no supone un lastre extra, y un alto módulo de Young, dándole esa resistencia necesaria para proteger el interior.
- Material no newtoniano: dado que no ha sido posible encontrar las propiedades de dicho material, se han asumido unas para la densidad y el coeficiente de Poisson. Respecto al módulo de Young, este se ira variando simulando el comportamiento de un material no newtoniano; siendo valores más pequeños para el ensayo de flexión debido a su baja velocidad de deformación y más grandes para el ensayo de impacto debido a su alta velocidad de deformación.

A continuación, en la tabla 3.3 se plantean las propiedades de cada material introducidas en el programa Abaqus. Las unidades que aparecen para cada una de las propiedades han sido estas para conservar la consistencia entre ellas, ya que la construcción de la tabla, en el módulo Part, se ha hecho en milímetros.

	Densidad (Tn/mm³)	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson
P-Tex	1.44x10 ⁻¹²	3447.4	0.29
Madera	5.7x10 ⁻¹⁰	10980	0.4
Topsheet plastic	1.19x10 ⁻⁹	2206.322	0.278
Material no newtoniano	10x10 ⁻⁹	20 - 20000	0.49

Tabla 3.3: Tabla de propiedades de los materiales [44]

Para la fibra de vidrio se presentan las propiedades en tipo lámina ya que simplifica a la hora de introducirlos en el programa. En la tabla 3.4 se expresan las propiedades de esta:

	Módulo de Young (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Módulo de elasticidad transversal (MPa)	Módulo de elasticidad transversal (MPa)	Coefficiente de Poisson
Fibra de Vidrio (MPa)	44700	12700	5800	4500	297

Tabla 3.4: Tabal de propiedades fibra de vidrio tipo lamina [45]

3.5 Simplificaciones

Para el análisis en el programa Abaqus se han asumido ciertas simplificaciones, tanto sobre la tabla como en las simulaciones de los ensayos con el fin de evitar un exceso de coste computacional sin alejarse demasiado del modelo real:

- Eliminación de nose y tail:

Dado que las partes elevadas del nose y del tail no suponen una parte fundamental en este estudio, ya que su único objetivo es el paso de la nieve por debajo de ella, se ha decidido eliminarlas.

- **Tipo de camber:**

El camber de la tabla es de tipo “zero”, es decir, plano, lo cual facilita mucho la geometría y la construcción de la malla, sin dejar de ser uno de los camber más utilizados en el freestyle.

- **Construcción de las piezas de material no newtoniano:**

Para poder construir una malla hexagonal estructurada sin distorsión, se ha decidido particionar verticalmente todo el perfil donde se encuentran dichas piezas. Posteriormente se ha asociado a cada rectángulo el material que le corresponde.

- **Construcción de la tabla:**

Para simplificar la construcción de la tabla, y como se ha comentado en el punto anterior de la construcción de la piezas del material no newtoniano, se ha decidido copiar este modelo para los dos tipos de ensayos en los dos estados. De esta manera solo construimos una tabla y no dos tipos de tablas, una con las piezas y otra sin ellas.

- **Material no newtoniano:**

Después de una búsqueda de las propiedades del material por todo internet, artículos científicos y algunos profesores de la universidad, sin éxito, se ha decidido implementar el material no newtoniano con la densidad y coeficiente de Poisson de un elastómero común, e ir variando su rigidez (y por lo tanto su módulo de Young) en función del ensayo que se simule.

4. Modelización numérica

En este apartado vamos a desarrollar nuestro modelo numérico de la tabla de snowboard. Para ello vamos a construir un único modelo, que como ya se explicó en el apartado de simplificaciones 3.5, constara de todas las particiones precisas que más adelante, en el módulo property, especificaremos. A continuación, vamos a explicar cada uno de los pasos que vamos a llevar a cabo en el programa Abaqus 6.11:

4.1 Módulo Part:

En este módulo se va a diseñar la geometría de tabla en cuestión. Ésta será, como ya vimos en el apartado de geometría 3.3, de la marca Salomon Snowboard, modelo Salomonder, con un camber flat y medida 151cm.

Para construirla, primero se diseñó la planta en “create part” con las dimensiones que se especifican en la tabla 3.1. Esto fue así y no construido a partir del perfil debido a que cuando se implantaban las láminas de fibra de vidrio surgieron complicaciones de orientación de las fibras en el seno del material. Posteriormente se protusiona la planta el espesor máximo de la tabla, que como se ve en la tabla 3.2, es de nueve milímetros. Hasta aquí se tiene una tabla totalmente rectangular.

A continuación, con el comando “create cut – extrude” le damos forma al perfil de tal manera que crezca desde los extremos con un valor de cinco milímetros hasta la superficie plana de nueve, quedando de la forma que se ve a continuación.



Fig. 4.1: Vista detallada del corte en el perfil

Una vez finalizado estos pasos, y antes de dar forma al canto efectivo, vamos a particionar el perfil de la tabla para más adelante asociar a cada partición el material que le corresponda. Las particiones se han diseñado con el comando “Particion Face”. Posteriormente al diseño de estas particiones, con el comando “Particion Cell” se extruirán dichas particiones a lo ancho de toda la tabla.

A continuación se puede apreciar el sketch de estas particiones.



Fig. 4.2: Vista del diseño de las particiones en el perfil de media tabla

En las siguientes imágenes se detallan las particiones de la parte inclinada y de la recta.



Fig. 4.3: Detalle de las particiones zona inclinada arriba y zona recta abajo

Una vez particionado todo el espesor, de nuevo, con la herramienta “create cut”, daremos forma al canto efectivo terminando así el diseño del modelo genérico de este proyecto. En la siguiente imagen se puede ver la planta de la tabla con el canto efectivo modelado.

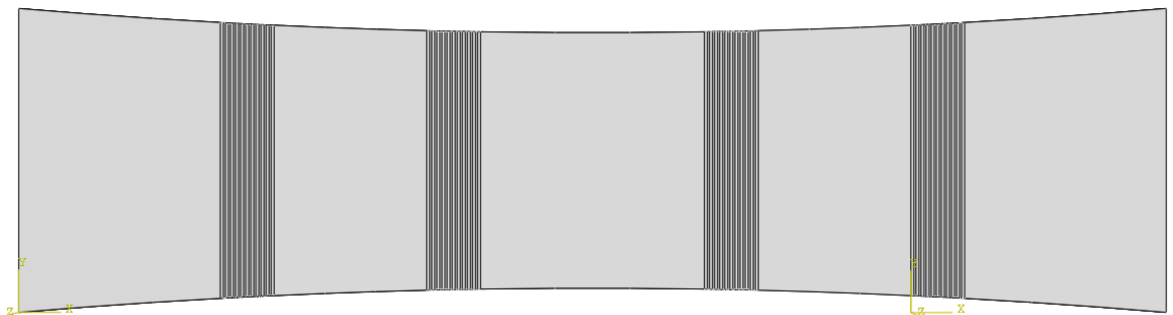


Fig. 4.4: Planta de la tabla con particiones y canto efectivo

Cabe destacar que las particiones verticales se han prolongado a lo largo de todo el espesor para conseguir una malla más estructurada y sin distorsión, ya que tras varias pruebas se pudo comprobar que la malla no era completamente homogénea en todas las partes de la tabla, modificando los resultados.

4.2 Módulo Property:

En este módulo se van a crear los materiales, es decir, se van a introducir los valores de densidad, módulo de Young y coeficiente de Poisson previamente buscados y relatados en el apartado 3.4.

Una vez creados los materiales se les asignará una sección a cada uno de ellos, siendo todos de tipo homogéneo a excepción de la fibra de vidrio que es de tipo composite. Para la fibra de vidrio se creará una “Composite Layup” de tipo “Continuum Shell” donde podremos especificar la orientación de las fibras, el tipo de material y el espesor de cada una de las láminas. Para la fibra de vidrio se tuvieron que crear dos sistemas de coordenadas adicionales para poder especificar la orientación de la lámina superior como consecuencia de la inclinación de la forma de la tabla en esta zona.

Por último, se asignarán las secciones de los materiales a las zonas de la tabla que corresponda. En este punto la fibra de vidrio no hará falta especificarla ya que cuando se creó el “Composite Layup” se requería la especificación de la zona que sería de fibra de vidrio.

4.3 Módulo Assembly

En este módulo vamos a crear nuestro modelo, nuestro “instance”. En este caso al tener una única instance de la part creada, será indiferente hacerla dependiente o independiente.

4.4 Módulo Step

En este módulo se van a crear los tipos de análisis que se le van a aplicar a la tabla. Teniendo en cuenta que los ensayos, tanto el de flexión como el de impacto, se van a aplicar por igual a la tabla convencional y la prototipo, será preciso copiar el modelo hasta este punto creado cuatro veces para así, más tarde, aplicarle los criterios correspondientes.

- Método de resolución a flexión:

Los modelos de ensayo a flexión se resolverán por el método de resolución numérica denominado “Static General” donde se especificará que el periodo de tiempo de la flexión sea de 1 segundo, imponiendo que los incrementos temporales que aplique Abaqus en la resolución numérica del problema sean de 0.05 segundos, tanto el incremento inicial como el máximo. De esta forma, a la hora de visualizar los resultados, se obtendrán 20 frames que permitirán observar cómo evoluciona la deformación de la tabla.

- Método de resolución a impacto:

Los modelos de ensayo a impacto también se resolverán por el método de resolución numérica denominado “Static General”. Para este ensayo el periodo de tiempo también será de 1 segundo.

4.5 Módulo Interaction

En este módulo dado que toda la pieza la hemos considerado una parte y además independiente, no hará falta crear ni modificar nada de este módulo, puesto que no existen diferentes partes que interaccionen entre ellas.

4.6 Módulo Load

En este módulo se va a especificar las cargas y las zonas de aplicación de éstas. Para ello se hará una “Partition Face”, es decir, se dibujara la zona de contacto de la tabla con los pies y con la barandilla. Es importante destacar que tenemos dos contactos con la barandilla diferentes, para cada uno de los ensayos modelizados: en uno la barandilla será perpendicular a la tabla, y en el otro longitudinal a ésta.

En primer lugar se van a mostrar las Partition Faces creadas para localizar las zonas de contacto con la barandilla. Una vez creadas, se les asignarán unas condiciones de contorno que determinarán como es el contacto entre la barandilla y la tabla. Esta condición será de tipo “Pinned” para ambos ensayos, es decir, apoyado. En primer lugar se va a mostrar la zona de contacto para el ensayo de flexión.

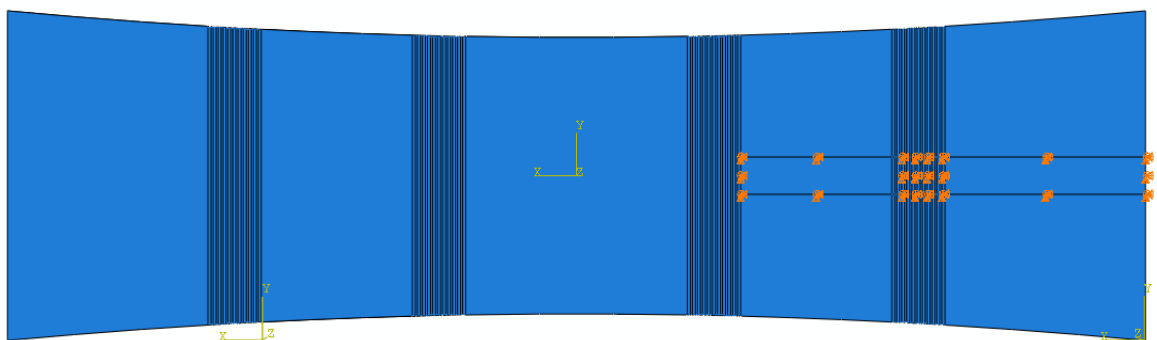


Fig. 4.5: Contacto barandilla-tabla en el ensayo a flexión

En segundo lugar se puede ver la zona de contacto con la barandilla del ensayo a impacto.

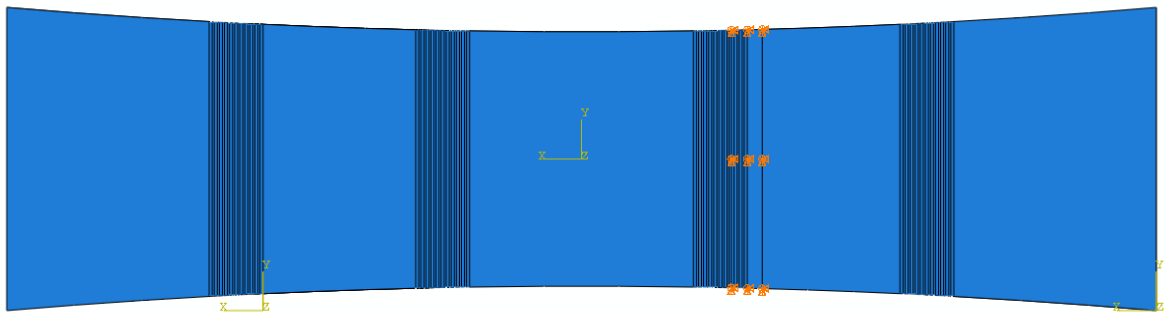


Fig. 4.6: Contacto barandilla-tabla en el ensayo a impacto

A continuación se van a mostrar la posición donde irán localizados los pies en la tabla. Esta posición, ya explicada en el apartado de Módulo Part, ha sido determinada mediante una partición. En la imagen siguiente se puede ver marcado en morado dicha posición.

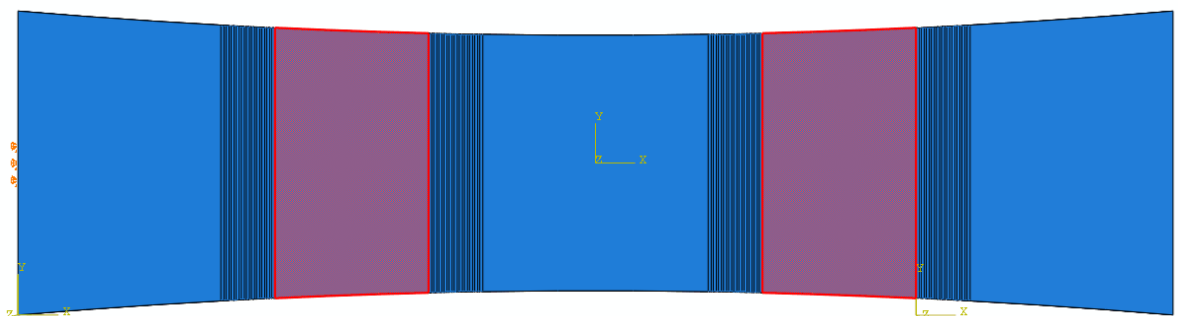


Fig. 4.7: Localización de los pies en la tabla

Por último, se asignará a esta posición de los pies una carga. Esta, no será igual para ambos pies, ya que al ser el límite de la fijación con la tabla, uno de los focos de estudio, deberemos comprobar el caso en el que la fuerza sea máxima en esta zona.

Para el ensayo a flexión se ha supuesto que la distribución de la carga sea de un 70% y un 30%, donde la carga de mayor porcentaje recaerá sobre la posición del pie que esta sobre la barandilla y la de menor para la posición que no pisa la barandilla. En este caso como lo que se quiere es que la tabla flecte sobre la barandilla las fuerzas tendrán sentidos contrarios. En la siguiente imagen se puede ver la posición y dirección de las cargas.’

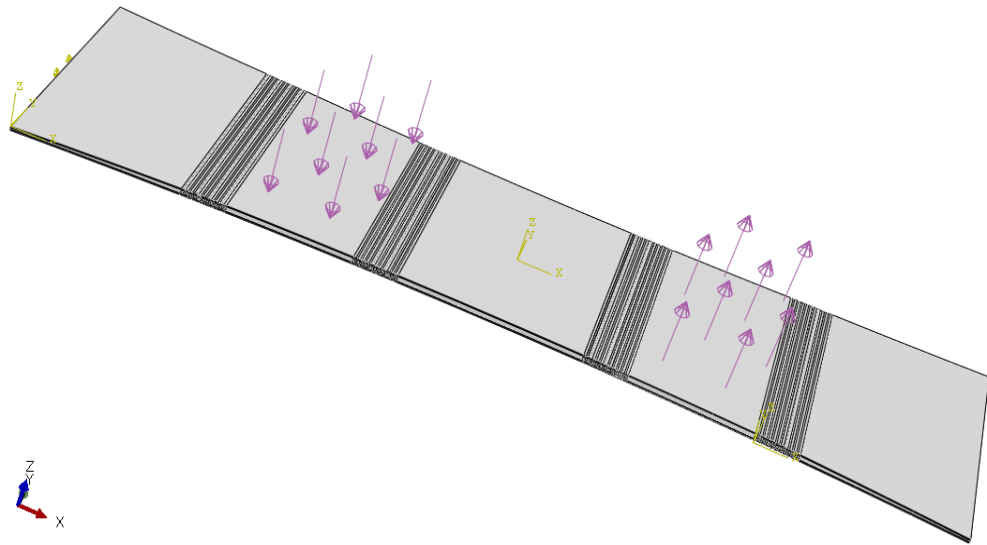


Fig. 4.8: Disposición de las cargas para el ensayo a flexión

Para el ensayo a impacto se ha supuesto que la distribución de la carga sea de un 80% y un 20%, donde la carga de mayor porcentaje recaerá sobre la posición del pie más próxima a la barandilla y la de menor porcentaje para la más alejada. Ambas tendrán la misma dirección y sentido como se muestra en la siguiente ilustración.

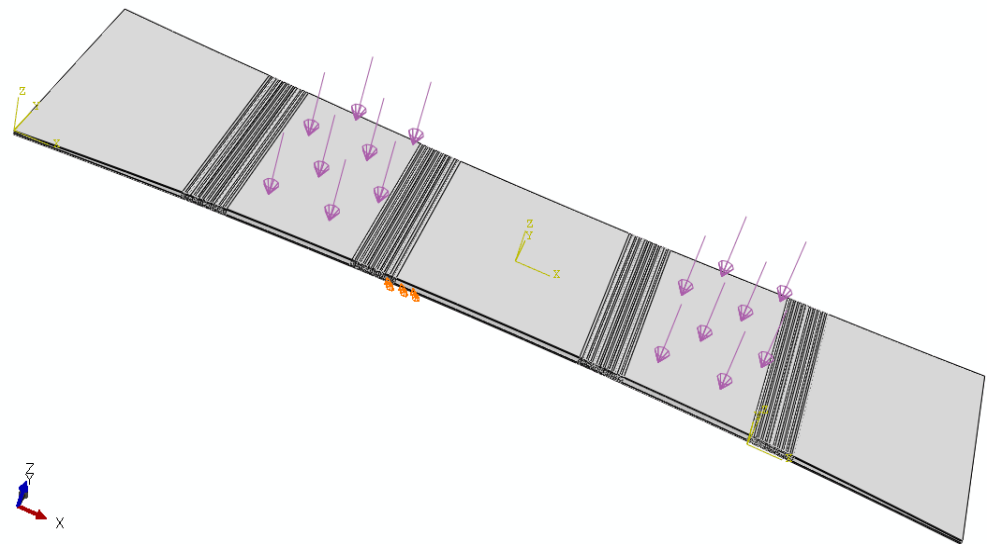


Fig. 4.9: Disposición de las cargas en el ensayo a impacto

Para establecer el valor de las cargas se ha utilizado un acelerómetro que mide aproximadamente las fuerzas G que experimenta un cuerpo ante el impacto con una barandilla como la que se simula, siendo diferente para cada ensayo. El peso elegido para ambos ensayos ha sido el de una persona de peso medio con un valor de 72 kg.

Análisis paramétrico de una tabla de snowboard con material no newtoniano

La fuerza G para el ensayo de impacto será aproximadamente de unas 3.5 G y para el ensayo de flexión de 1.7 G.

Para el cálculo del área de aplicación de la carga, donde irían colocados los pies, se han tomado las siguientes medidas, donde las cotas aparecen expresadas en milímetros.

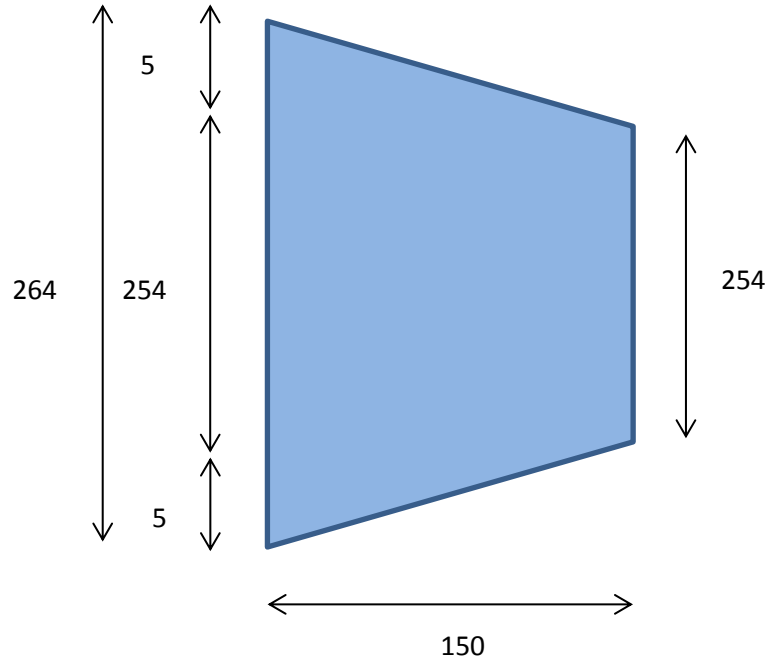


Fig. 4.10: Cotas del punto de aplicación de las cargas

- Ensayo a flexión:

Peso = 72 kg

Aceleración de la gravedad = $9.81 \frac{m}{s^2}$

Fuerzas G = 1.7 g

Área de aplicación de la carga = $2 \times [(254 \times 150) + 2 \times (\frac{1}{2} \times 150 \times 5)] = 77600 \text{ mm}^2$

$$\text{Carga total} = 72 \times 9.81 \times 1.7 = 1200 \text{ N}$$

$$\text{Presión total} = \frac{1200}{0.0776} = 15463.92 \text{ Pa}$$

Carga 70% = 10824 Pa

Carga 30% = 4639 Pa

- Ensayo a impacto:

Peso = 72 kg

Aceleración de la gravedad = $9.81 \frac{m}{s^2}$

Fuerzas G = 3.5 g

Área de aplicación de la carga = $2 \times [(254 \times 150) + 2 \times (\frac{1}{2} \times 150 \times 5)] = 77600 \text{ mm}^2$

$$\text{Carga total} = 72 \times 9.81 \times 3.5 = 2472 \text{ N}$$

$$\text{Presión total} = \frac{2472}{0.0776} = 31855.67 \text{ Pa}$$

Carga 80% = 25484 Pa

Carga 20% = 6371 Pa

4.7 Módulo Mesh

En este módulo se va a mallar la tabla. Para ello, y como se viene diciendo en apartados anteriores, se han hecho una serie de modificaciones y simplificaciones a la tabla con el fin de que la malla sea lo más estructurada posible.

Lo primero que se ha hecho es seleccionar el tipo de elemento de malla para nuestra fibra de vidrio. Como ya se contó en el apartado de Property, la fibra de vidrio ha sido considera de tipo “Continuum Shell” y por tanto el tipo de malla para este material será del mismo tipo. Por ello se seleccionó mediante el comando “Assign Element Type” todas las particiones donde se encontraba la fibra de vidrio y luego se le asignó el tipo de malla. Para el resto de elementos no hará falta seleccionarlos ya que se encuentran seleccionados por defecto en el tipo “3D Stress”.

Una vez realizado esto, se selecciona toda la tabla y con el comando “Seed Part Instance” se podrá establecer el número de nodos, con lo que se podrá construir una malla más o menos gruesa. Cuanto más pequeño sea el tamaño de los elementos que conforman la malla, más preciso será el ensayo.

Por último, con el comando “Mesh Part Instance” se mallar la tabla por completo, finalizando así el módulo de mallado. Quedará comprobar que la malla este bien estructurada sin ninguna distorsión relevante.

4.7.1. Estudio de sensibilidad de la malla

Ahora se va a realizar un análisis de sensibilidad de la malla donde se podrá ver cómo cambian los resultados en función del tamaño de la malla que se aplique. Se va a realizar un estudio para cada uno de los ensayos, a flexión y a impacto. En las siguientes imágenes se pueden ver cuatro mallas con distinto tamaño de elementos que han sido calculadas para hacer el estudio de sensibilidad de la malla.

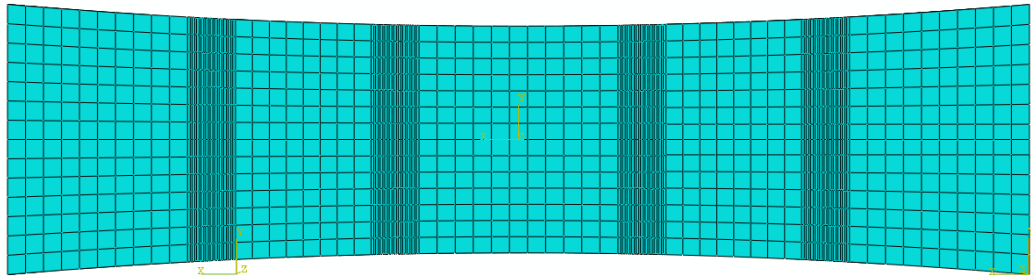


Fig. 4.11: Tabla mallada con un tamaño de elemento 20

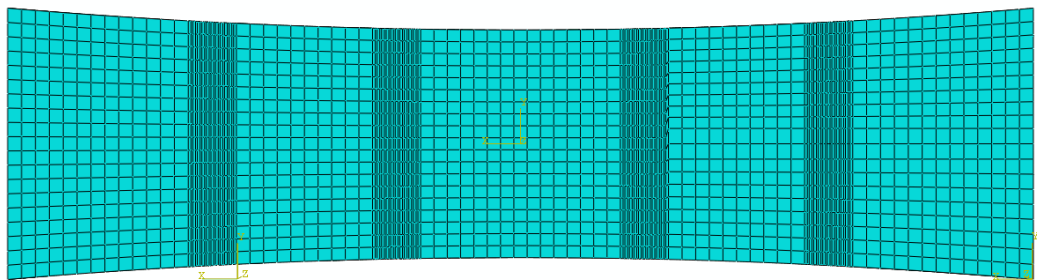


Fig. 4.12: Tabla mallada con un tamaño de elemento 15

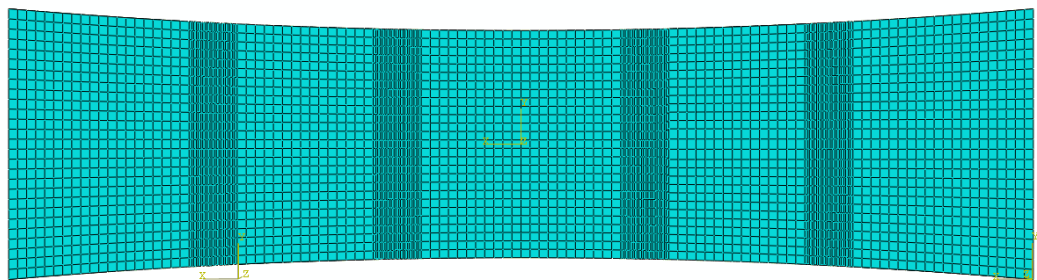


Fig. 4.13: Tabla mallada con un tamaño de elemento 10

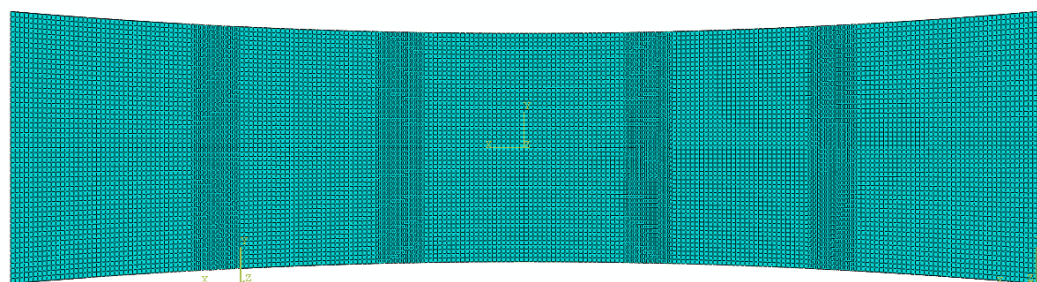


Fig. 4.14: Tabla mallada con un tamaño de elemento 5

En el siguiente gráfico, perteneciente al ensayo a flexión, se puede ver como a partir del tamaño de malla 7 (33264 elementos) los resultados convergen siendo este un resultado lo más ajustado a la realidad. Por tanto, los resultados se obtendrán con tamaño de malla 7 para este ensayo.

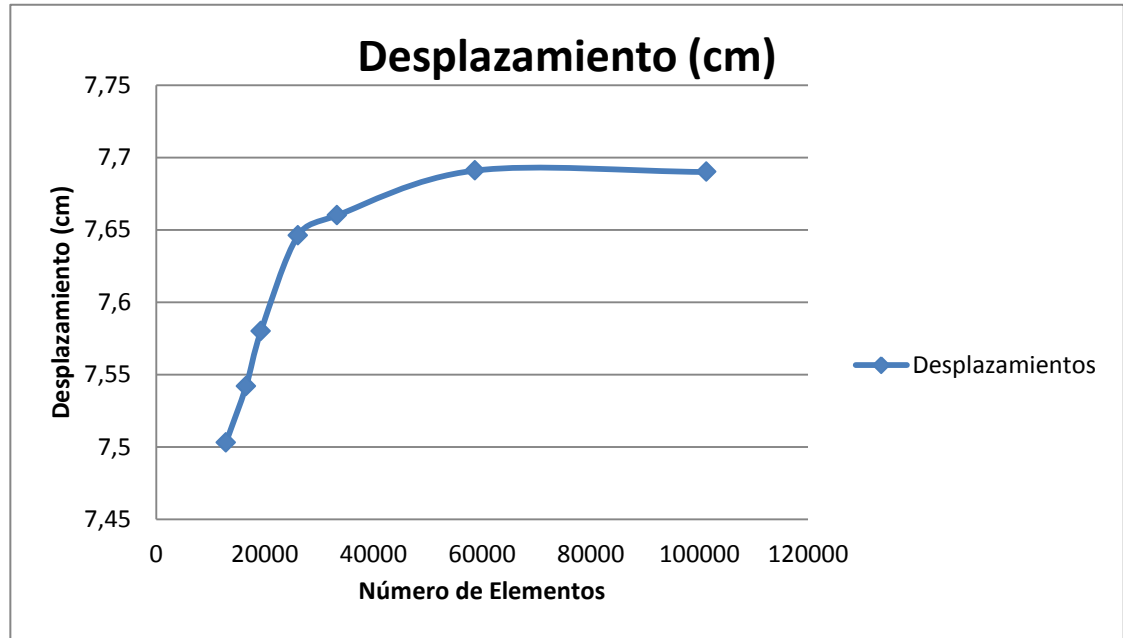


Fig. 4.15: Relación número de elementos frente a desplazamiento

En el siguiente gráfico, perteneciente al ensayo a impacto, se puede ver como a partir del tamaño de malla 7 (33264 elementos) los resultados convergen siendo este un resultado lo más ajustado a la realidad. Por tanto, los resultados se obtendrán con tamaño de malla 7 para este ensayo.

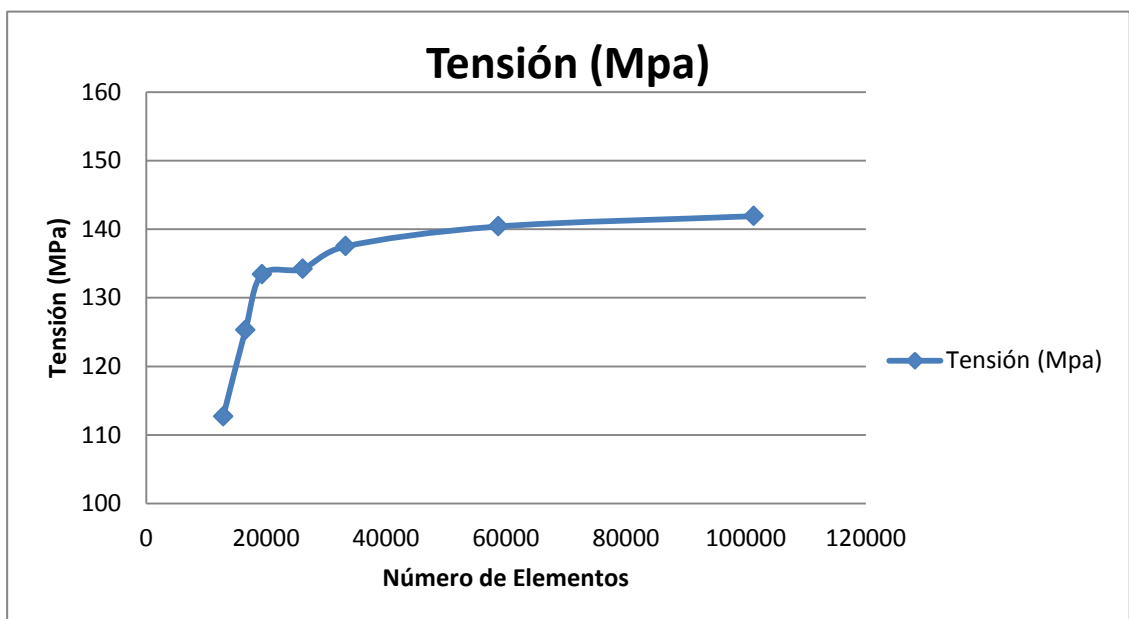


Fig. 4.16: Relación número de elementos frente a tensión

5. Resultados

Como ya se explicó en el apartado de simplificaciones 3.5, no ha sido posible encontrar las propiedades de este material no newtoniano, por lo que para ambos ensayos se ha hecho un estudio del comportamiento de la tabla, con un material en su interior, el cual presentara distintos módulos de Young, y por lo tanto diferentes rigideces. De esta manera se podrá ver a partir de qué punto un material con propiedades similares surgiría efecto positivo en un tabla de snowboard.

Para ambos resultados se ha utilizado una malla de tamaño 7, la cual nos da unos resultados bastante ajustados sin mucho coste computacional, como ya se ha visto en el apartado de Modulo Mesh.

A continuación se presentan los resultados para ambos ensayos. Se van a mostrar los resultados diferenciando entre la tabla estándar, sin ninguna modificación y la tabla con las piezas nuevas.

5.1 Ensayo a flexión:

– Modelo estándar:

Este es el resultado del modelo sin piezas de material no newtoniano, por tanto, será el punto de referencia con el que se comparará el resto de resultados de este ensayo. Aunque en este ensayo el dato más relevante es el desplazamiento del tail, también se mostrara la tensión que se genera en la tabla. En las siguientes imágenes se puede ver el desplazamiento y la tensión que experimenta la tabla comparando el estado final y el inicial.

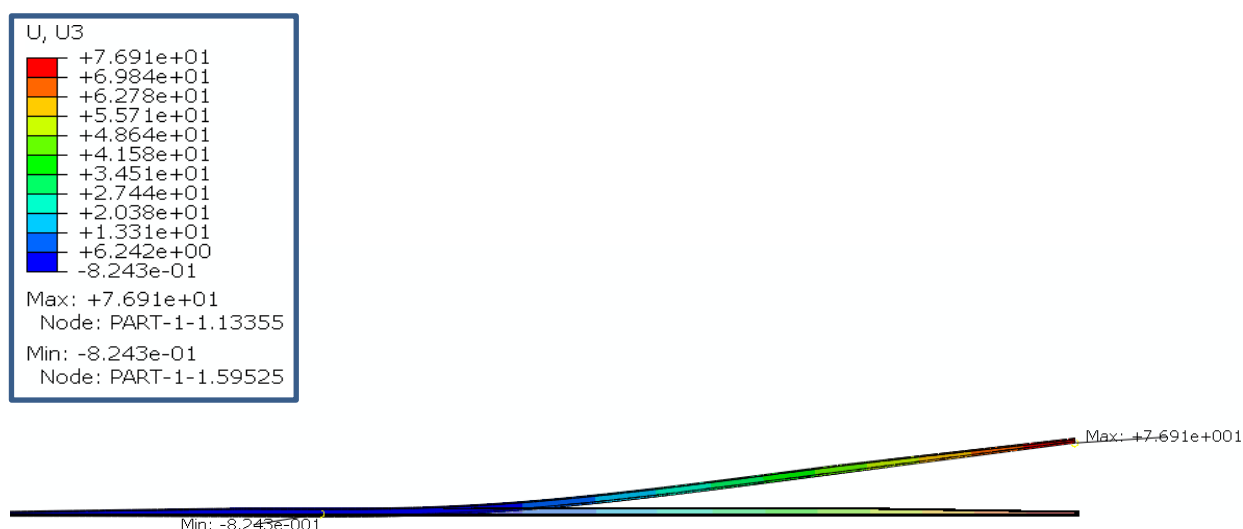


Fig. 5.1: Resultado del desplazamiento en el ensayo a flexión

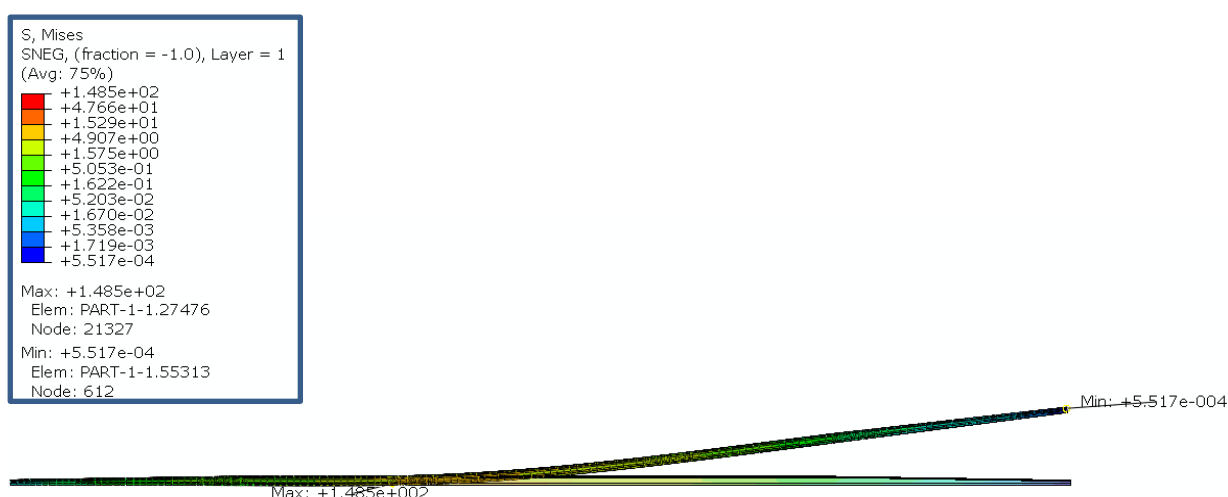


Fig. 5.2: Resultado de la tensión en el ensayo a flexión

A continuación se resumen los valores máximos con los que se compararán posteriormente en el apartado de modelo modificado:

Desplazamiento máximo = 7.691 cm

Tensión máxima = 148.5 MPa

– Modelo modificado:

En este modelo se han introducido unas piezas cuyo objetivo, ya explicado en anteriores apartados, es el de permitir a la tabla flectar más. Dado que no disponemos del material no newtoniano, se ha realizado un barrido de valores del módulo de Young, el valor que nos indica la rigidez del material, desde valores de algunos elastómeros (50MPa) hasta un valor superior al de la madera, que como se detalló en el apartado 3.4, es de 10980 MPa.

En la siguiente tabla resumen se puede ver como a medida que disminuimos el módulo de Young el desplazamiento que experimenta la tabla aumenta.

Módulo de Young (MPa)	50	100	500	1000	6000	12000
Tensión (MPa)	197.6	193.9	182.2	176.8	156.2	143.8
Desplazamiento (cm)	8.865	8.763	8.462	8.338	7.894	7.61
Incremento tensión (%)	33	30.57	22.69	19	5.18	-3.16
Incremento desplazamiento (%)	15.3	13.95	10.04	8.43	2.65	-1.1

Tabla 5.1: Tabla resumen del comportamiento de los distintos módulos de Young

A continuación, en las siguientes gráficas, se puede ver la evolución del desplazamiento y de la tensión en función del módulo de Young en el ensayo de flexión.

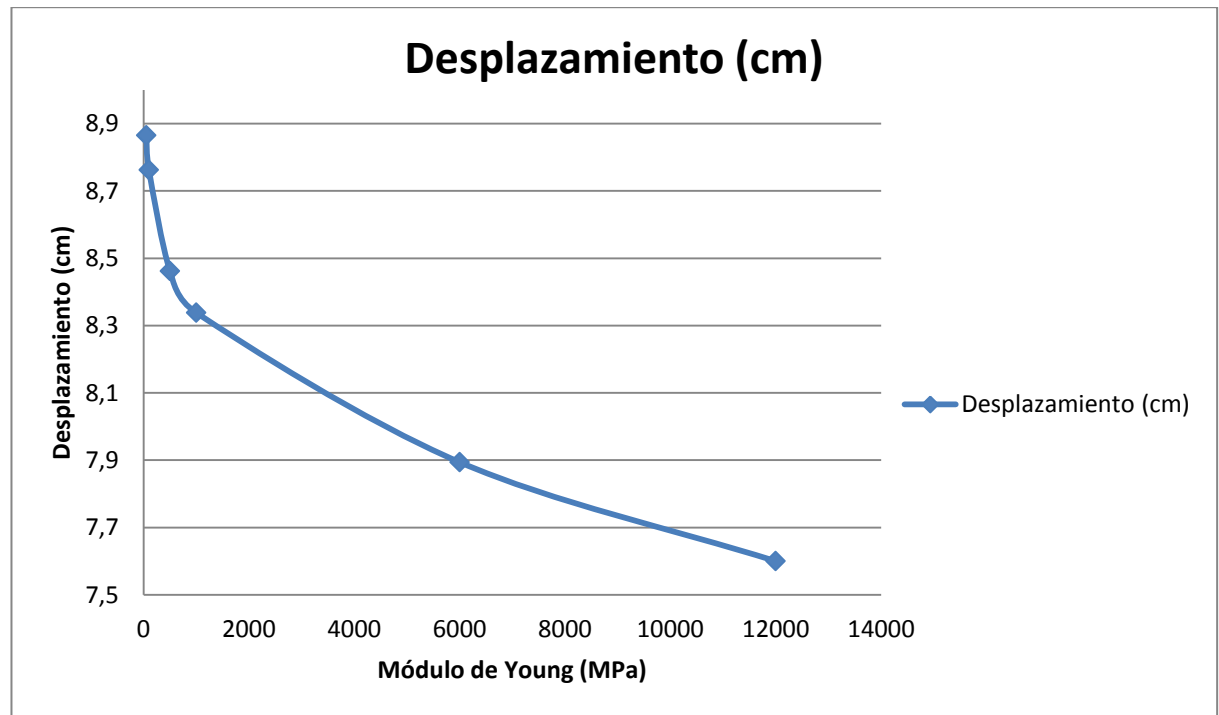


Fig. 5.3: Desplazamiento frente a módulo de Young

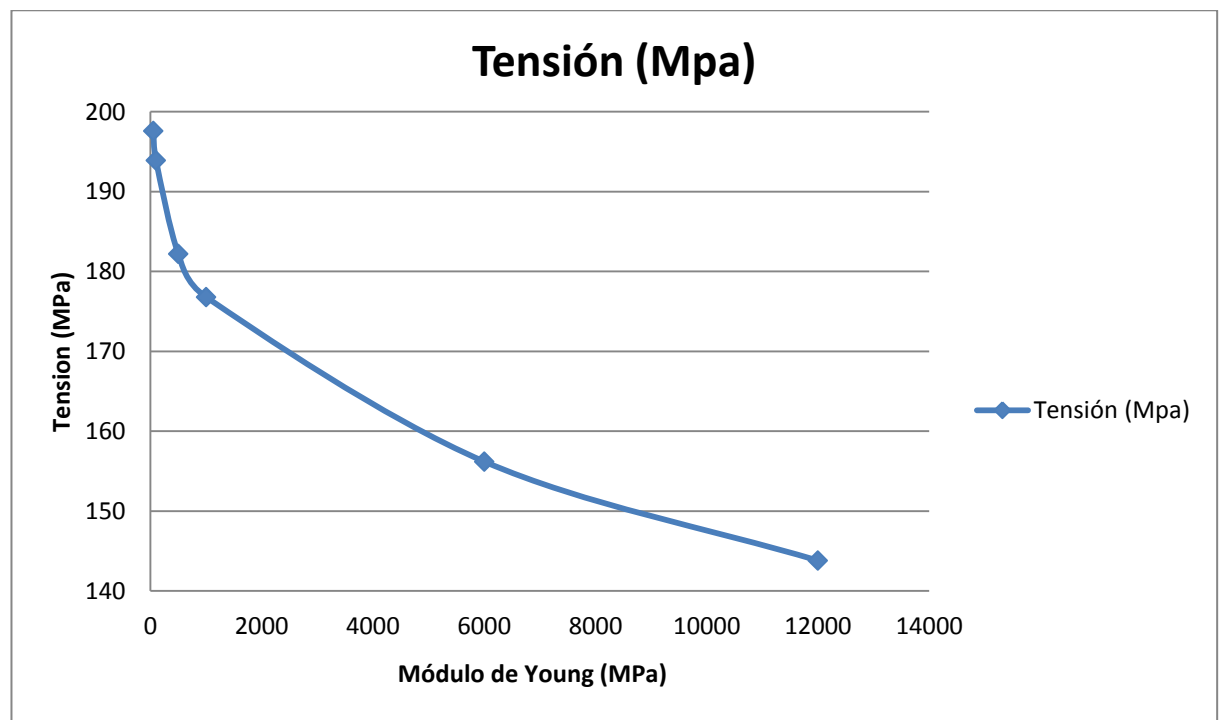


Fig. 5.4: Tensión frente a módulo de Young

Por último, se ilustrarán los valores extremos e intermedio tanto de deformación como de tensión para el caso del ensayo a flexión. En primer lugar se mostrará el desplazamiento.

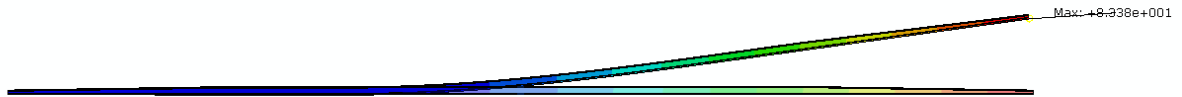


Fig. 5.5: Tabla con piezas con módulo de Young 12000 MPa

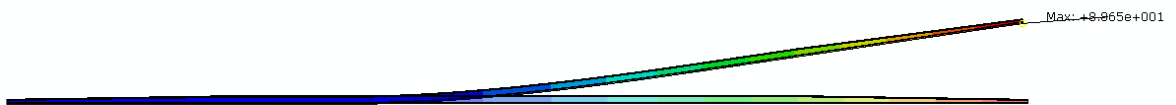


Fig. 5.6: Tabla con piezas con módulo de Young 1000 MPa

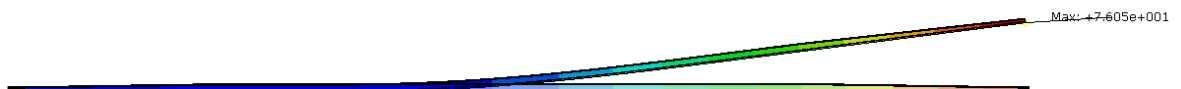


Fig. 5.7: Tabla con piezas con módulo de Young 50 MPa

En segundo lugar se van a mostrar las ilustraciones con los distintos módulos de Young para cada pieza, esta vez se analizará la tensión generada en las tablas.



Fig. 5.8: Tabla con piezas con módulo de Young 12000 MPa



Fig. 5.9: Tabla con piezas con módulo de Young 1000 MPa



Fig. 5.10: Tabla con piezas con módulo de Young 50 MPa

5.2 Ensayo a impacto:

– Modelo estándar:

Este es el resultado del modelo sin piezas, por tanto, será el punto de referencia con el que se comparará el resto de resultados de este ensayo. Aunque en este ensayo el dato más relevante es la tensión acumulada en la tabla, también se mostrara el desplazamiento que se genera en la misma. En las siguientes imágenes se puede ver la tensión y el desplazamiento que experimenta la tabla comparando el estado final y el inicial.

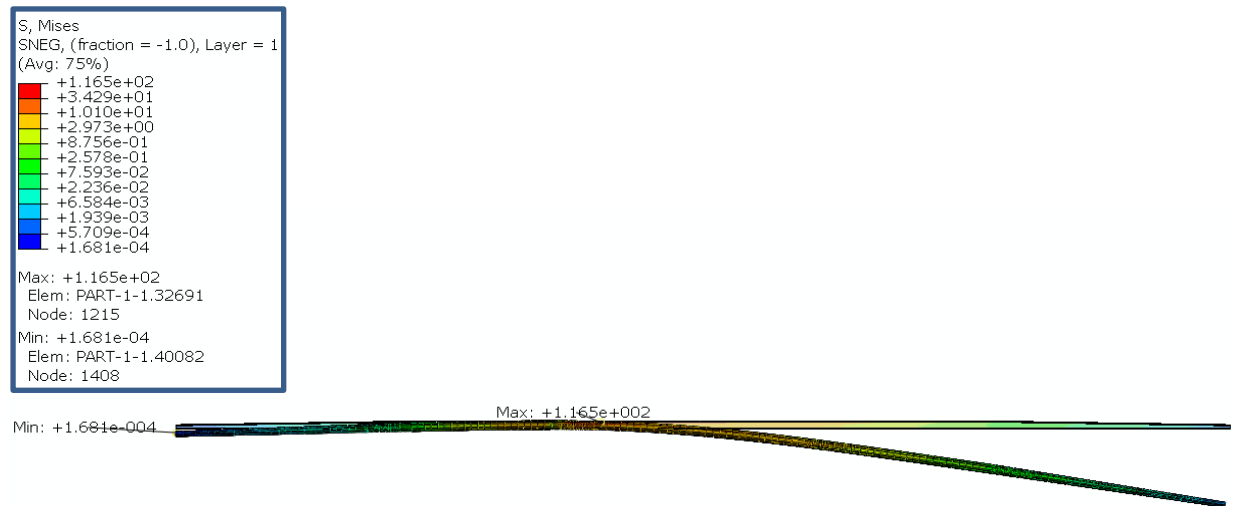


Fig. 5.11: Resultado de la tensión en el ensayo de impacto

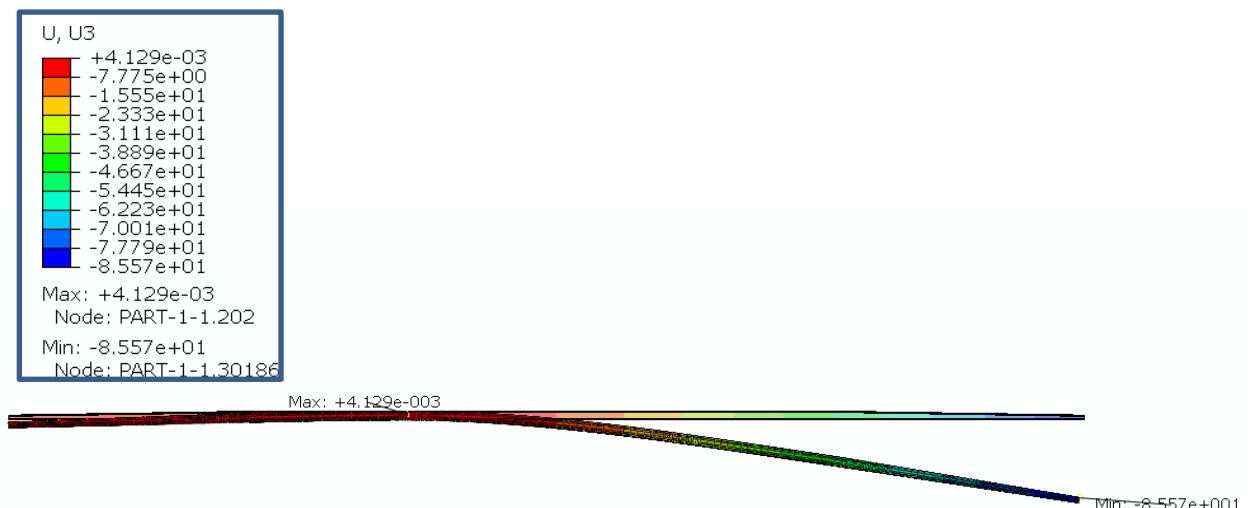


Fig. 5.12: Resultado del desplazamiento en el ensayo de impacto

A continuación se resumen los valores máximos con los que se comparara posteriormente en el apartado de modelo modificado:

Tensión máxima = 116.5 MPa

Desplazamiento máximo = 8.56 cm

– Modelo modificado:

En este otro modelo las piezas tienen el objetivo contrario, que como ya se ha explicado en anteriores apartados, es el de evitar que la tabla acumule tanta tensión ante un impacto y por tanto flexa menos. Dado que no disponemos del material, se ha hecho un barrido de valores del módulo de Young, desde valores inferiores al de la madera en aumento hasta valores muy altos donde se ve que ese aumento de rigidez disminuye la tensión acumulada en la tabla.

En la siguiente tabla resumen se puede ver como a medida que aumentamos el módulo de Young la tensión que experimenta la tabla disminuye al igual que la deformación.

Módulo de Young (MPa)	6000	12000	15000	20000	25000	30000
Tensión (MPa)	124.5	114.3	111.1	110.7	110.4	110
Desplazamiento (cm)	8.757	8.472	8.371	8.236	8.132	8.05
Incremento tensión (%)	6.87	-1.89	-4.64	-4.98	-5.24	-5.5
Incremento desplazamiento (%)	2.3	-1.03	-2.21	-3.79	-5	-6

Tabla 5.2: Tabla resumen del comportamiento de los distintos módulos de Young

A continuación, en las siguientes gráficas, se puede ver la evolución del desplazamiento y de la tensión en función del módulo de Young en el ensayo de flexión.

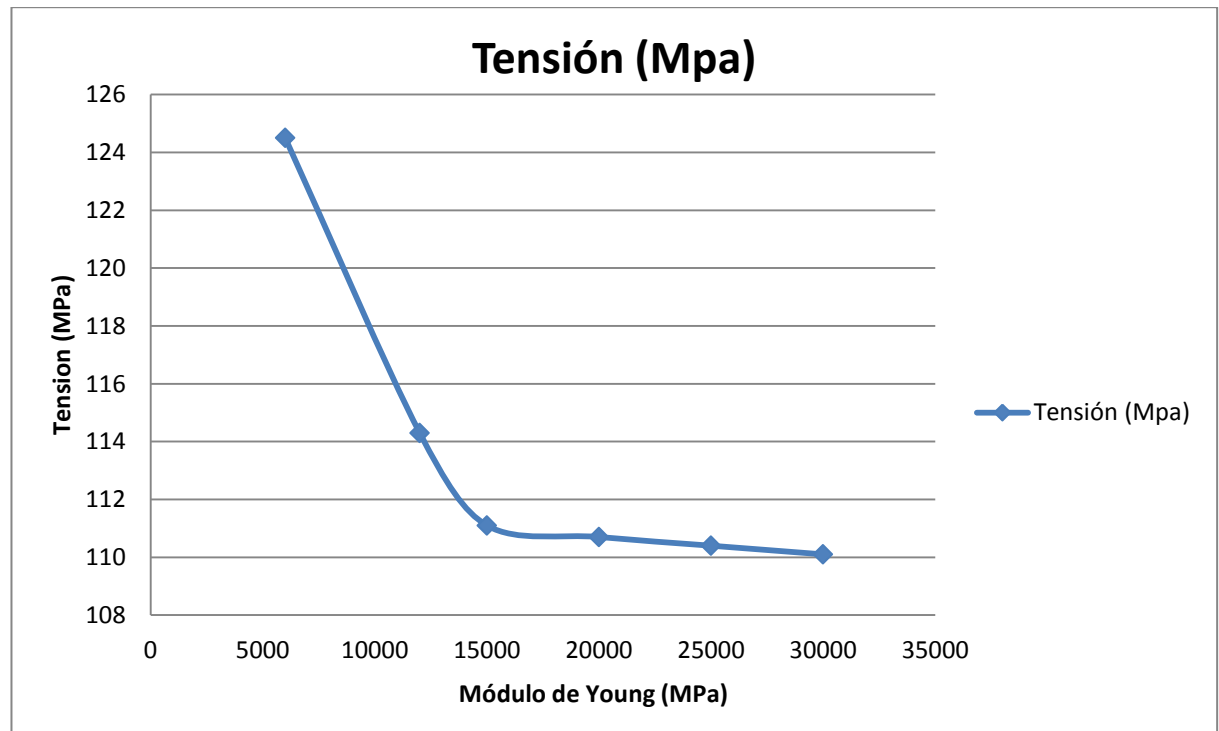


Fig. 5.13: Tensión frente a módulo de Young

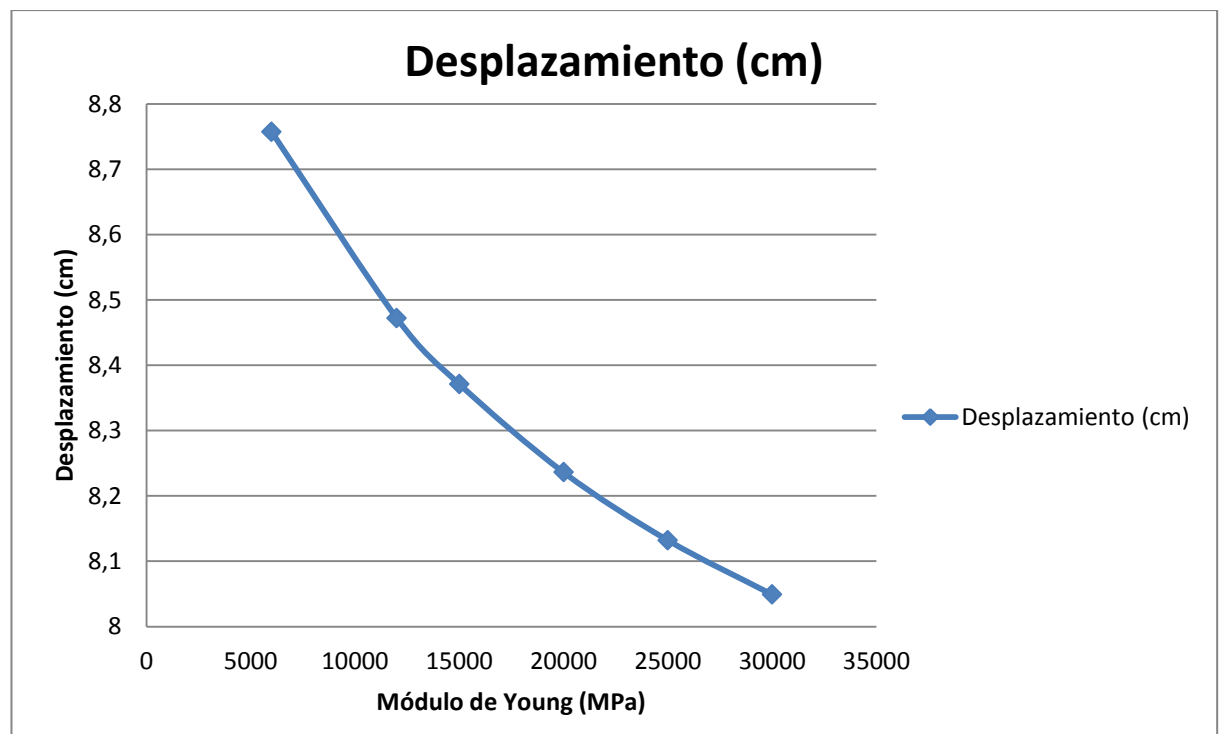


Fig. 5.14: Desplazamiento frente a módulo de Young

Análisis paramétrico de una tabla de snowboard con material no newtoniano

En primer lugar se van a mostrar las ilustraciones con los distintos módulos de Young para cada pieza, esta vez, se analizará la tensión generada en las tablas.



Fig. 5.15: Tabla con piezas con módulo de Young 6000 MPa



Fig. 5.16: Tabla con piezas con módulo de Young 15000 MPa



Fig. 5.17: Tabla con piezas con módulo de Young 30000 MPa

Análisis paramétrico de una tabla de snowboard con material no newtoniano

En segundo lugar se van a mostrar las ilustraciones con los distintos módulos de Young para cada pieza, esta vez, se analizará el desplazamiento generado en las tablas.

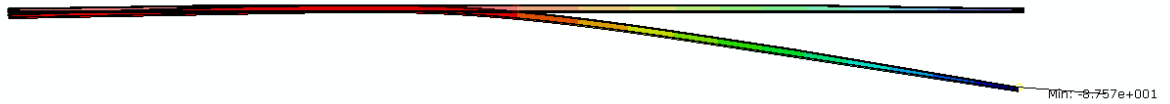


Fig. 5.18: Tabla con piezas con módulo de Young 6000 MPa

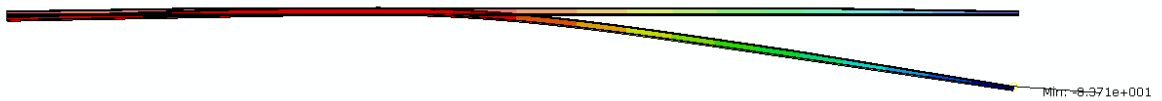


Fig. 5.19: Tabla con piezas con módulo de Young 15000 MPa



Fig. 5.20: Tabla con piezas con módulo de Young 30000 MPa

6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones

Tras las pruebas realizadas a ambos ensayos se ha comprobado que la introducción de estas piezas mejora el rendimiento tanto en el ensayo de flexión, como en el ensayo de impacto. A pesar de que los incrementos de tensión y desplazamiento no son muy grandes, se confirma que esta idea podría tener una utilidad ventajosa en el futuro de las tablas de snowboard. En concreto se especifica que existe un aumento del 15% en el desplazamiento de la tabla en el ensayo de flexión y una disminución del 5.5% en la tensión generada en la tabla en el ensayo de impacto.

También cabe destacar que en el ensayo de impacto no sólo se ha disminuido la tensión sino que el desplazamiento de la tabla también ha disminuido en un 6% lo cual tiene sentido ya que cuanto más doble en un impacto, más peligro existe de romper, por tanto si la tensión ha disminuido el desplazamiento también lo hará.

Con estos datos, por tanto, se confirma la existencia de mejora en estos rendimientos, pero hay que señalar que el material empleado para estas piezas no es el no newtoniano que se buscaba en un inicio y que presentaba tan buenas características y respuestas.

Es muy posible que en una futura ampliación del presente proyecto, y ya con la información relevante a este material, el resultado fuese aún más favorable, ya que como se vio en el apartado 2.5, en las imágenes capturadas del video de Fischer, el comportamiento era excelente tanto ante un impacto como ante una flexión.

Por otro lado, en el ensayo de flexión el aumento de la tensión generada como consecuencia de este aumento de desplazamiento es del 33%. Es cierto que es un aumento considerable de la tensión generada en la tabla, pero es muy posible que si el material de estas piezas fuese realmente el material logrado por Fischer la diferencia de tensión no fuese tan grande.

Tanto en el ensayo de flexión como en el de impacto, si se miran las tablas 5.1 y 5.2 se podrá comprobar que las tensiones y desplazamientos de ambos ensayos se acercan o se alejan en función de si el módulo de Young se acerca o se aleja del propio de la madera, que como se vio en el tabla de propiedades 3.3, es de un valor de 10980 MPa. Esto tiene mucho sentido ya que las propiedades de los materiales se asemejan variando únicamente en el módulo de Young que es lo que aporta mayor o menor rigidez al material.

6.2 Trabajos futuros

Una vez completado el análisis del comportamiento de este prototipo de tabla, surgen nuevas ideas que desarrollar en torno a ésta. Estos trabajos añadirían valor de análisis al prototipo buscando la optimización total de éste. A continuación se explicaran algunas de estas ideas aplicables al modelo concreto de este proyecto:

- Estudio de la colocación de piezas: en este trabajo se buscara la optimización tanto del tamaño de las piezas como del lugar exacto que generase el mejor rendimiento en la tabla. Se podrían hacer las piezas con mayor espesor y más estrechas o bien de menor espesor y más anchas. Como estas combinaciones cabría la posibilidad de probar varias que posiblemente mejoraran el rendimiento.
- Estudio con material no newtoniano real: como ya se explicó en el apartado 3.4 el material empleado en el estudio de este proyecto no es exactamente un material no newtoniano por lo que se realizó un estudio con propiedades variables. Por tanto, el trabajo futuro sería realizarlo con las propiedades de un material no newtoniano real con el fin de comprobar sus diferentes comportamientos.

También se podrían desarrollar otro tipo de ideas aplicables a una tabla de snowboard como las que se desarrollan a continuación:

- ABS en los extremos: esta idea tiene como objetivo evitar que el nose y tail de la tabla se rompan como consecuencia de una colisión con un obstáculo de un snowpark. Se trata de colocar unas piezas de goma rígida en los extremos de tal manera que si la tabla impactase, la energía fuese disipada a lo largo de la goma sin afectar a la integridad estructural de la tabla. Cabe destacar que las tablas convencionales presentan canto metálico en estas zonas por lo que en esta idea el canto se vería suprimido como en algunos modelos ya existentes.
- ABS en los cantos metálicos: esta idea nace como consecuencia de la cantidad de casos que se dan de cantos rotos en las tablas usadas en el snowpark. Estas fracturas se producen por el impacto del canto con esquirlas de metal presentes en las barandillas o cajones de un snowpark. La idea sería la colocación de una lámina de goma ABS detrás de los enjertos de los cantos. En la imagen siguiente se especifica con un rectángulo rojo el lugar de colocación de esta lámina de goma en el interior de la tabla.

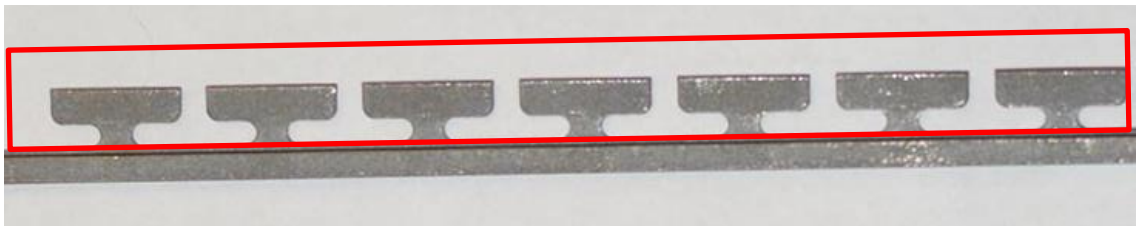


Fig. 6.1: Canto metálico con la localización del ABS [46]

7. Bibliografía

- [1] https://coresites-cdn.factorymedia.com/whitelines_new/wp-content/uploads/2015/03/backlip-web-ed-blomfield.jpg y <http://cdn.snowboardermag.com/files/2011/07/Joe-Nose-Press-at-Camp-of-Champions.jpg>

- [2] http://abqdoc.byv.kth.se:2080/v6.11/main_top_bar.jpg y <http://lim.ii.udc.es/formacion/solidedge/img/SolidEdge.jpg>

- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=o0nMxxRU6Js>

- [4] <http://www.redbull.com/mx/es/snow/stories/1331746753578/5-riders-snowboard-mas-famosos-influyentes-del-mundo>

- [5] <http://blog.liftopia.com/blog/ski-fashion-years/>

- [6] <http://www.tricksnowboard.com/categoria/pipe> y <https://onboardmag.com/snowboarding-events/other-snowboarding-events/sochi-2014-riders-not-happy-with-the-state-of-the-halfpipe.html#ZFOJmtTSUCPJLoMH.97>

- [7] <http://snowboarding.transworld.net/photos/craig-kelly-timeline/#LEBwCUgKjB2G8rt5.97>

- [8] <https://www.pinterest.com/lizhall42/snowboarding/>

- [9] http://thumbs4.picclick.com/d/l400/pict/301838943247_/325-Vintage-style-1980s-SIMS-Shaun-Palmer-FLAG.jpg

- [10] <http://snowboarding8090.com/rubrika/pioneers/terje-haakonsen/>

- [11] <http://www.los-deportes.info/1998-nagano-juegos-olimpicos-de-invierno-s16-c0-b0-j1-u17.html> y <http://www.cinevideo.it/?p=1290>

- [12] <http://www.angrystsnowboarder.com/shaun-white-hate-disappointment/> y <http://parlez-vousphotography.quietplacetolive.com/february-6-2014-thank-you-for-gustav-willeit-helmut-newton-response-coffee-at-the-winter-olympics/>
- [13] <http://www.vnews.com/home/6985792-95/kevin-pearces-recovery>
- [14] <http://www.northernexpress.com/michigan/article-5770-snurfing-anyone.html>
- [15] [https://stonybrook.digication.com/agustin_artiles_kuhnel/EST_325 -
Technology in the workplace](https://stonybrook.digication.com/agustin_artiles_kuhnel/EST_325_-_Technology_in_the_workplace)
- [16] <http://i.imgur.com/7f5m40M.jpg>
- [17] <http://manualdesnowboard.es/tablas-snowboard.html>
- [18] <http://manualdesnowboard.es/tablas-snowboard.html>
- [19] <http://manualdesnowboard.es/tablas-snowboard.html> y <http://bopiweb.com/elemento/1415452/>
- [20] http://snowsport.pl/p10738-Deska_NITRO_T1_ZERO_flat_ROCKER_2012.html
- [21] <http://www.evo.com/snowboards/burton-process-flying-v-snowboard.aspx> y <http://www.redbull.com/es/es/snow/stories/1331771763918/como-elegir-fijaciones-snowboard>
- [22] <http://www.shredtalks.com/2010/12/06/lib-tech-skate-banana-review/> y <http://www.snowboards.com/on/demandware.store/Sites-Snowboards-Site/default/Search-Show?prefn1=brand&prefv1=Lib%20Tech>
- [23] <http://manualdesnowboard.es/tablas-snowboard.html>
- [24] <http://www.lugaresdenieve.com/?q=es/reportaje/lo-que-debes-saber-antes-de-comprar-una-tabla-de-snowboard>

- [25] <http://1inf1516.profesdeciencias.net/index.php/category/sport/>
- [26] <http://www.salomon.com/sp/product/salomonder-1.html?article=375702>
- [27] <http://www.salomon.com/sp/product/xlt-1.html?article=375716>
- [28] <http://www.salomon.com/sp/product/sickstick-1.html?article=375713>
- [29] <http://www.salomon.com/sp/product/premiere-1.html?article=375720>
- [30] <http://www.newschoolers.com/news/read/How-Fix-Broken-Edge>
- [31] http://www.trusnow.com/forum/forum_posts.asp?TID=53251
- [32] <http://www.celtek.com/snowboarding/tux-gash-offpiste-sad-gypsy-austria-gletscher-salomon/> y <https://fr.ifixit.com/Guide/P-Tex+Repair/21403>
- [33] https://www.reddit.com/r/snowboarding/comments/1t7ilo/broke_my_snowboard_trying_my_first_tamedog/
- [34] <http://radshot.com/snowboard-photos/urban/lnp-gap-to-boardslide-sherbrooke-quebec/> y <http://www.snowboardingforum.com/snowboarding-general-chat/25241-broke-board-today.html>
- [35] <https://irianvanhelfteren.com/2014/02/09/broken-board/>
- [36] <https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2015-03-19-Fluido%20no%20newtoniano.pdf>
- [37] http://statics05.notengotele.com/ntts/2013/03/NTT_131204_fluido_no_newtoniano_solo_agua_y_maizena_thumb_fb.jpg y <https://experimentosfaciles.files.wordpress.com/2013/10/dsc06409s.jpg>
- [38] <https://www.youtube.com/watch?v= AJxtngF5pc> --- captura de pantalla

- [39] https://www.youtube.com/watch?v=_AJxtngF5pc --- captura de pantalla
- [40] <http://juegaconmigo.es/media/catalog/product/cache/2/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/a/1/a1.jpg> y http://mlc-s2-p.mlstatic.com/serpiente-de-madera-982-MLC28784370_695-O.jpg
- [41] http://cdn.snowboarding.transworld.net/wp-content/blogs.dir/442/files/2013/07/Dan_Brisse_Gap_Frontlip_Wellhausen-600x300.jpg
- [42] <http://cdn.snowboardermag.com/files/2011/07/Joe-Nose-Press-at-Camp-of-Champions.jpg> y http://www.woodwardatcopper.com/images/stories/2015_Week_5_Gallery/W5_2015_SB_JoeSexton_NosePress_Central_Proulx.jpg
- [43] https://issuu.com/readyone/docs/1415_salomon_catalog?e=8415012/6571037
- [44] <http://comccapla.com/materiales/ertalyte-pet-p-tex-pet-p/> , <http://www.castor.es/arce.html> y http://www.boedeker.com/polyc_p.htm
- [45] <http://barbero.cadec-online.com/papers/2013/10.1016/j.compositesb.2012.09.069.pdf>
- [46] <http://www.snowboardmaterials.com/index.php/materials/edges>